Über Zweigströme in Entladungsröhren.

Habilitationsschrift

zur

Erlangung der Venia docendi

einer

hohen philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Alexanders-Universität zu Erlangen

vorgelegt von

Dr. phil. J. Würschmidt,
Assistenten am physikalischen Institut.

Erlangen
K. B. Hof- und Universitätsbuchdruckerei von Junge & Sohn.
1911.

60

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543503_0108

Über Zweigströme in Entladungsröhren.

Habilitationsschrift

zur

Erlangung der Venia docendi

einer

hohen philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Alexanders-Universität zu Erlangen

vorgelegt von

Dr. phil. J. Würschmidt,
Assistenten am physikalischen Institut.

Erlangen
K. B. Hof- und Universitätsbuchdruckerei von Junge & Sohn.
1911.

Inhalt.

Seite

Einleitung 1
Versuchsanordnung und Apparate 2
Versuche 6
A. Intensität des Zweigstromes 6
B. Potentialverteilung im Zweigrohr 31
C. Versuche mit Wehnelt-Kathoden 53
Zusammenfassung der Resultate 66

Einleitung.

Über die Verhältnisse bei der selbständigen Strömung der Elektrizität durch verdünnte Gase hat eine große Reihe von Arbeiten Aufschluß gegeben. Jedoch konnte diese Entladungsform nur bis zu einer unteren Grenze der Stromstärke untersucht werden, da bei Stromstärken unter 10^{-4} Amp. die Entladung diskontinuierlich wurde oder gänzlich verschwand. Auf einige Fälle, bei denen ganz schwache Ströme in Entladungsröhren auftreten, nämlich bei sehr stark verlangsamtem Gang der stromliefernden Influenzmaschine nach der Beobachtung von E. Wiedemann[1]) und unter Verwendung einer schwach glühenden Wehneltkathode bei tiefen Drucken habe ich früher hingewiesen[2]). Eine andere Methode, um zu kleinen Stromstärken zu gelangen, wandte H. A. Wilson[3]) an, indem er von einem Entladungsrohr ein zweites abzweigte, dessen Achse senkrecht zu der des ersten stand, und das eine durch ein empfindliches Galvanometer geerdete Elektrode enthielt. Es ging dann durch das seitliche Rohr und das Galvanometer ein ganz schwacher Zweigstrom[4]), dessen Intensität durch Änderungen an der Hauptentladung geändert werden konnte.

---

[1]) E. Wiedemann, Wied. Ann. Bd. 20, S. 760. 1883.

[2]) J. Würschmidt, Verh. d. D. phys. Ges. Bd. 12, S. 652. 1910.

[3]) H. A. Wilson, Phil. Mag. (6), Bd. 6, S. 180. 1903.

[4]) Auf die an „Transversalströmen" angestellten Versuche von C. A. Mebius (Wied. Ann. Bd. 59, S. 695. 1886), H. A. Wilson (Phil. Mag. [5], Bd. 49, S. 505. 1910) und G. C. Schmidt (Ann. d. Phys. [4], Bd. 18, S. 869. 1905) sei hier wenigstens hingewiesen; vgl. auch die Literaturangaben bei R. Reiger, Verhandl. d. D. phys. Ges. Bd. 13, S. 284. 1911.

Mittels zweier in dem Zweigrohr angebrachter Sonden hat Wilson einige Messungen über die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke bei diesen schwachen Strömen angestellt und gefunden, daß der Gradient mit wachsender Stromstärke erst rasch, dann langsamer wächst, um sich für größere Stromstärken einem konstanten Werte zu nähern. Bei noch größeren Stromstärken wurde die Entladung im Zweigrohr intermittierend und der Gradient viel geringer als bei der stetigen Entladung.

Wilsons Messungen erstrecken sich jedoch nur auf den Gradienten an einer bestimmten Stelle des Zweigrohres bei drei nicht erheblich voneinander verschiedenen Drucken; es erschien daher von Interesse, die Intensitäts- und Spannungsverhältnisse bei Zweigströmen nach den verschiedensten Richtungen eingehender zu untersuchen und besonders ihren Zusammenhang mit den für die Hauptentladung bestimmenden Größen aufzusuchen.

Diese Zweigströme müssen, ebenso wie die Transversalströme, als eine unselbständige Strömung bezeichnet werden[1]), da die Ionisation durch einen sekundären Ionisator, nämlich die Entladung im Hauptrohr, bedingt und in ihrer Stärke von den Verhältnissen an der Verzweigungsstelle abhängig ist. Andererseits aber sind sie der selbständigen Strömung insofern verwandt, als bei ihnen die zweite Elektrode eines Entladungsrohres durch ein auf ein bestimmtes Potential geladenes Gas größerer oder geringerer Ionisation ersetzt ist; die Verzweigungsstelle kann somit als „Gaselektrode“ bezeichnet werden.

Unter geeigneten Versuchsbedingungen geht, wie die folgenden Versuche zeigen, die unselbständige Strömung durch das Zweigrohr in die gewöhnliche, selbständige und leuchtende Entladung über.

Versuchsanordnung und Apparate.

1. Entladungsröhren. Die Entladungsröhren hatten im wesentlichen sämtlich den Typus der Fig. 1; Abänderungen, die bei einigen Versuchen notwendig waren, werden bei diesen mitgeteilt. An ein etwa 40 cm langes und 4 cm weites mit 2 Schliffen zum Auswechseln der Elektroden versehenes Rohr ist in der

[1]) R. Reiger, a. a. O. S. 296.

Mitte senkrecht dazu ein zweites meist etwa halb so langes, gleichfalls mit einem Schliff versehenes Rohr angesetzt. Dieses enthält bei s_1, s_2, s_3, s_4 kurze seitliche Ansätze, die die zu den Potentialmessungen dienenden Sonden tragen.

Bei den Versuchen an reinen Gasen waren am Entladungsrohr ebenso wie an der Luftpumpe Fettschliffe vollständig vermieden. Die Elektroden waren an Platindrähte angelötet und diese mittels Einschmelzglas eingeschmolzen; ebenso die Sonden. Wurde im Zweigrohr eine scheibenförmige Elektrode verwandt, so wurde das Zweigrohr nach unten gestellt und ein großer Quecksilberschliff benutzt.

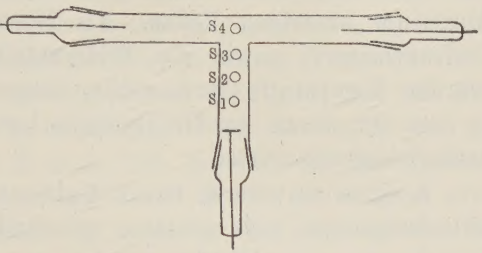

Fig. 1.

2. Als Elektrizitätsquelle diente bei den meisten Versuchen eine Hochspannungsbatterie von 3000 Volt, ferner eine Töplersche Influenzmaschine. Für die Versuche, bei denen eine Wehneltkathode verwandt wurde, wurde als Stromquelle für die Entladung die städtische Lichtleitung von ± 220 Volt, als Heizstrom für die Glühkathode die Institutsleitung von 110 Volt oder einige Akkumulatoren großer Kapazität benutzt.

3. Strommessung. Die Stromstärke der Zweigentladung wurde mit einem empfindlichen Galvanometer von Siemens gemessen, dem, um für stärkere Ströme die Empfindlichkeit herabzusetzen, passend gewählte Stöpselrheostaten parallelgeschaltet werden konnten. Zur Messung der Intensität des Hauptstromes dienten Milliamperemeter mit den Meßbereichen bis 8, bis 30 und bis 200 Milliamp., bei den starken Strömen Amperemeter bis 1,5 bezw. bis 5 Amp.

4. Spannungsmessung. Größere Potentiale, bei denen es sich nur um eine angenäherte Messung handelt, wurden mit einem Braunschen Elektrometer (bis 1500 Volt), kleinere Potentiale und Potentialdifferenzen mit einem Mascartschen Quadrantenelektrometer, das meist in der „Nadelschaltung“ [1]) verwandt wurde, gemessen.

[1]) W. Matthies, Inaug.-Diss. Erlangen 1906, S. 6.

5. Als Vorschaltwiderstände dienten bei Verwendung der Hochspannungsbatterie Hittorfsche Jodkadmiumwiderstände, bei Verwendung der 220 Voltleitung passend gewählte Glühlampenwiderstände, die die Stromstärke im Entladungsrohr auch bei Einsetzen eines Lichtbogens nicht über ein bestimmtes Maximum ansteigen ließen. Als Nebenschlußwiderstände des Galvanometers, sowie als Widerstände bei dessen Eichung wurden Hartmann-Braunsche Stöpselrheostaten verwandt; in dem Stromkreis der Glühkathode befanden sich teils Kurbel- teils Schieberheostaten.

6. Evakuiert wurde teils mit einer automatischen Fallquecksilberluftpumpe, teils mit einer rotierenden Quecksilberluftpumpe von Gaede; die Drucke wurden an einem Mac-Leodschen Manometer abgelesen.

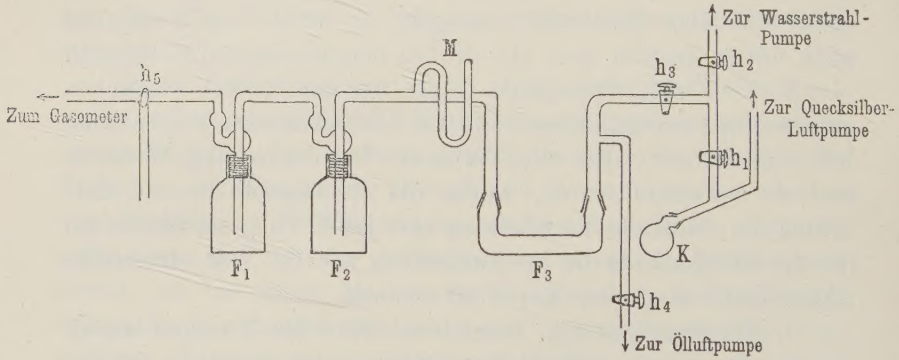

Fig. 2.

7. Die untersuchten Gase waren außer Luft Stickstoff und Wasserstoff. Zur Stickstoffdarstellung wurden[1]) 59 g Salmiak in ca. 200 g Wasser gelöst, die Lösung erwärmt und 70 g Natriumnitrit hinzugefügt. Beim Erhitzen dieser Lösung entwickelt sich Stickstoff, der dann in einem Glasgasometer über Wasser aufbewahrt wurde. Der Wasserstoff wurde elektrolytisch hergestellt. Um das Gas in das Entladungsrohr einzuleiten, war mit der Quecksilberluftpumpe ein Vorraum verbunden, der mittels einer Ölluftpumpe evakuiert werden konnte. Die Anordnung zeigt Fig. 2.

---

[1]) A. Pospielow, Inaug.-Diss. Erlangen 1907, S. 8.

F_1 und F_2 sind Drechselsche Flaschen, die bei Stickstoff mit Pyrogallussäure und Schwefelsäure, bei Wasserstoff beide mit Schwefelsäure gefüllt waren. Die Vorlage F_3 enthielt Phosphorpentoxyd. M ist ein abgekürztes Manometer. Das Füllen des Entladungsrohres mit dem Gase wurde folgendermaßen vorgenommen. Zunächst wurde h_3 geschlossen, h_2 und h_1 geöffnet, die mit Quecksilber gefüllte, in einem Fettschliff drehbare Kugel nach unten gestellt (wie in der Figur) und mit der Wasserstrahlluftpumpe vorevakuiert. Dann wurde h_2 und h_1 geschlossen, die Kugel K nach oben gedreht, die Quecksilberluftpumpe in Gang gesetzt und damit soweit als möglich evakuiert. Unterdessen wurde h_3 geöffnet, der Dreiweghahn h_5 gegen den Vorraum hin geschlossen und dieser mit der Ölluftpumpe evakuiert. Dann ließ man das Gas durch den Dreiweghahn zunächst einige Zeitlang ins Freie ausströmen, hierauf durch Drehen von h_5 in den Vorraum, bis es diesen unter Atmosphärendruck bezw. Gasometerdruck ausfüllte. Hierauf wurde der Vorraum nochmals in gleicher Weise evakuiert und gefüllt. Jetzt wurde K nach unten gedreht und h_1 vorsichtig geöffnet, so daß eine kleine Menge des Gases in die Quecksilberluftpumpe und das Entladungsrohr eintrat. Dann wurde h_1 wieder geschlossen und die Kugel nach oben gedreht und mit der Quecksilberluftpumpe bis zu dem Druck, bei dem die Messung vorgenommen werden sollte, evakuiert.

Die Quecksilberdämpfe wurden nach A. Cornu[1]) in der Weise abgehalten, daß zwischen Luftpumpe und Entladungsrohr ein in drei Abteilungen geteiltes Gefäß eingeschaltet wurde, deren mittlere mit geschmolzenem Schwefel und deren äußere je mit Kupferspänen gefüllt waren.

Die im folgenden beschriebenen Versuche erstrecken sich zunächst auf die Untersuchung der Intensität des Zweigstromes, die von der Lage des Zweigrohres gegenüber der Hauptentladung und den für diese bestimmenden Größen abhängig ist; im zweiten Teil wird die Potentialverteilung im Zweigrohr eingehender untersucht. Der dritte Teil endlich bringt eine Reihe von Beobachtungen bei Verwendung einer Glühkathode im Hauptrohr.

---

[1]) A. Cornu, Journ. d. Phys. Bd. 5, S. 100. 1886; W. Matthies, Wied. Ann. Bd. 17, S. 679. 1905.

Als Gasfüllung des Entladungsrohres wurde Luft, Stickstoff und Wasserstoff verwandt.

In jedem Fall sind 2 Fälle zu unterscheiden; man kann nämlich im Hauptstrom die Kathode zur Erde ableiten und an die Anode ein positives Potential legen; dann wird die Elektrode des Zweigstromes eine (sekundäre) Kathode; in dem Falle aber, daß die Hauptanode geerdet und die Hauptkathode mit einem negativen Potential verbunden wird, ist sie Anode.

Zum Schluß sind noch eine Reihe von Versuchen beschrieben, bei denen beide Elektroden des Zweigrohres „Gaselektroden" waren, d. h. durch auf verschiedene Potentiale geladene Stellen zweier Entladungsröhren ersetzt waren.

Versuche.

A. Intensität des Zweigstromes.

I. Füllung mit Luft.

1. Kathode im Zweigrohr.

Das Entladungsrohr hatte die oben gezeichnete Form, die Elektroden des Hauptrohres waren Aluminiumdrähte von 4 mm Durchmesser. Der Abstand der Kathode des Zweigrohres von der an der Verzweigungsstelle angebrachten Sonde, die zur Messung des Potentiales an der Ansatzstelle des seitlichen Rohres, des „Verzweigungspotentiales V" diente, betrug 23 cm, sie bestand aus einem 4 mm dicken und (innerhalb des Entladungsrohres) 19 cm langen Aluminiumdraht.

Im folgenden ist ferner die Intensität des Hauptstromes stets mit J, die des Zweigstromes mit i bezeichnet.

Die Intensität des Zweigstromes ist bestimmt durch: 1. die Lage der Verzweigungsstelle in der Hauptentladung; 2. die Hauptstromstärke; 3. das Verzweigungspotential und 4. den Druck (bei konstanter Form und Stellung der Kathode).

Zunächst ergab sich, daß der Zweigstrom stets, unabhängig von der Lage des Verzweigungspunktes, unter 10^{-9} Amp. blieb, wenn bei höheren Drucken (2—3 mm Hg) kein positives Licht im Hauptrohr vorhanden war. Wurde die Hauptstromstärke so weit gesteigert, daß sich eine positive Säule ausbildete, die sich bis vor die Verzweigungsstelle erstreckte, so wuchs

die Zweigstromstärke mit wachsender Hauptstromstärke und zwar innerhalb des beobachteten Intervalles zuerst rasch, dann langsamer, wie aus Tabelle 1 bis 3 und Figur 3 zu ersehen ist.

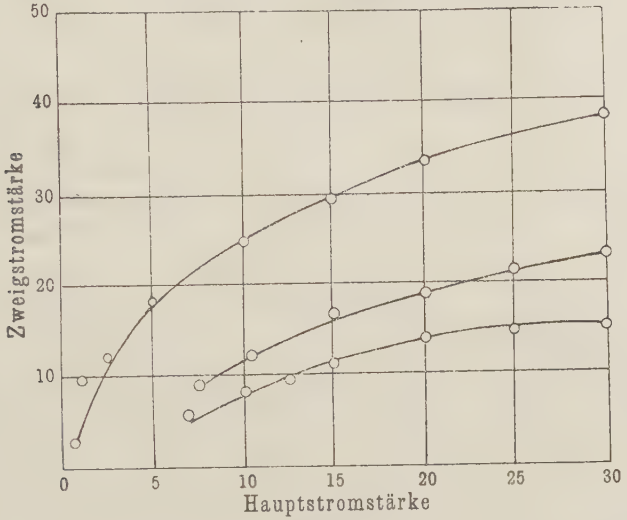

Fig. 3.

Tabelle 1.
p = 2,34.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
4,4	0,9	500
5,75	1,9	550
6,7	5,7	580
10	8,6	600
12,5	9,6	600
15	11,4	605
20	13,4	605
25	15,2	605
30	17,2	605

Tabelle 2.
p = 1,75.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
7,5	9,0	500
10,5	12,4	560
15	16,2	590
20	18,7	595
25	21,1	600
30	23,4	605

Tabelle 3.
p = 0,70.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
0,5	2,5	350
1,0	9,6	360
2,5	11,9	380
5	18,2	420
10	24,9	500
15	29,6	520
20	33,5	550
30	38,6	580

Zu diesen Versuchen ist folgendes zu bemerken:

Bei den höheren Drucken sind in einem gewissen Bereich der Stromstärke 2 Entladungsformen im Hauptstrom möglich. Bei kleinen Stromstärken hat die Anode eine sehr große Bedeckung und der Raum zwischen Anode und Kathode ist vollständig dunkel. Der Zweigstrom beträgt dann stets unter

10^{-9} Amp. Steigert man die Stromstärke, so bleibt die gleiche Form bestehen und der Zweigstrom bleibt unter dieser Grenze. Zwischen 4 und 6 Milliampere ändert sich plötzlich die Entladung; die Anodenbedeckung wird bedeutend kleiner und von der Anode aus breitet sich positives Licht gegen die Kathode hinaus. Diese Entladung ist zunächst oft diskontinuierlich und wird erst bei weiterer Steigerung der Stromstärke stets kontinuierlich; für diesen letzteren Fall erreicht die Intensität des Zweigstromes die in den Tabellen angegebenen Werte. Die Kathodenbedeckung ist in beiden Fällen gleich groß. Geht man umgekehrt von höheren Werten der Stromstärke aus, so bleibt die zweite Form auch noch für Stromstärken bestehen, für die im obigen Fall die erste Form auftritt. Es sind somit für gleiche Stromstärken und bei konstantem Druck zwei Entladungsformen möglich; die tatsächlich vorhandene ist durch die Eigenschaft der vorher bestehenden Entladung bedingt.

Bei tieferen Drucken bildet sich auch für kleine Stromstärken nur die zweite Entladungsform (mit positiver Säule) aus; bei Drucken unter 0,7 mm ist schon für kleine Stromstärken die Kathode ganz bedeckt; dann wird die Entladung diskontinuierlich und im Zweigstrom tritt bei Hauptstromstärken zwischen 20 und 30 Milliampere eine Entladung von der gleichen Form wie im Hauptrohr auf, die im Gegensatz zu der bisher beobachteten eine „selbständige“ [1]) Entladung ist. Erniedrigt man dann die Hauptstromstärke oder erhöht man den Druck, so bleibt diese Entladung doch bestehen. Auf die näheren Bedingungen für ihr Zustandekommen ist weiter unten hingewiesen.

Aus den Tabellen und der Fig. 3 geht hervor, daß die Zweigstromstärke i mit wachsender Hauptstromstärke J erst rasch, dann langsamer ansteigt; wie aus späteren Versuchen hervorgeht, nähern sich die Kurven aber keinem Maximum, sondern zeigen für größere Zweigströme wieder ein rascheres Anwachsen, da aus der anfangs „rein unselbständigen“ Strömung eine „gemischt unselbständige“ [2]) Strömung wird. Vgl. hierzu auch S. 19.

Da sich bei der Veränderung von J auch das Potential V etwas ändert und somit auch hierdurch die für i sich ergebenden

[1]) Winkelmann, Handbuch der Physik Bd. 4, S. 492 ff.
[2]) Handbuch der Physik Bd. 4, S. 497.

Werte beeinflußt werden, wurde die Abhängigkeit der Zweigstromstärke i von V bei konstantem J untersucht. Zu diesem Zwecke wurde der zur Einkittstelle der Hauptkathode führende Schliff durch ein Glasrohr verlängert und an die Aluminiumkathode ein zylindrisches Stück Eisen (mit Aluminiumlot), an dieses eine Spirale aus Kupferdraht und hieran wieder ein Stück Aluminiumdraht angelötet und letzteres eingekittet. Mittels eines an die 110 Voltleitung angeschlossenen Elektromagneten wurde dann das Eisenstück und damit die Kathode im Entladungsrohr verschoben und so das Potential an der Verzweigungsstelle geändert. Die Hauptstromstärke wurde durch Nachregulieren mittels des Jodkadmiumwiderstandes konstant gehalten.

Die Tabellen 4 bis 12 und die Kurven der Fig. 4 zeigen, daß i mit wachsendem V annähernd geradlinig wächst; mit abnehmendem Druck wird der Anstieg immer steiler. Die Hauptstromstärke betrug bei dieser Versuchsreihe stets 10 Milliampere.

Tab. 4. $p = 3{,}80$

V	$i \cdot 10^9$
1100	18,0
975	12,6
850	8,6

Tab. 5. $p = 3{,}25$

V	$i \cdot 10^9$
690	3,8
780	7,6
820	9,6
920	12,4
1010	15,3
1050	19,2

Tab. 6. $p = 2{,}82$

V	$i \cdot 10^9$
635	4,0
700	7,4
780	10,2
830	12,7
975	16,0
1020	20,4

Tab. 7. $p = 2{,}24$

V	$i \cdot 10^9$
560	10,5
640	12,8
710	15,6
880	21,3
930	25,8

Tab. 8. $p = 2{,}10$

V	$i \cdot 10^9$
535	7,6
620	13,5
670	14,0
710	17,1
805	21,4
920	25,6

Tabelle 9. $p = 1{,}52$

V	$i \cdot 10^9$
505	17,1
520	18,0
600	21,6
740	25,8
790	32,4

Tabelle 10. $p = 0{,}66$

V	$i \cdot 10^9$
460	33,7
480	35,1
620	52,6
640	59,8
515	39,6
575	44,1

Tabelle 11. $p = 0{,}5$

V	$i \cdot 10^9$
405	31,5
480	40,5
510	43,3
550	47,7
600	53,5
675	61,5

Tabelle 12. $p = 0{,}4$

V	$i \cdot 10^9$
480	57,6
520	63,9
600	83,7
670	102,7

Wurde die Hauptstromstärke auf einem anderen Wert konstant gehalten, so ergab sich der gleiche Verlauf, nur ent-

sprechend größere oder kleinere Zweigstromstärken, je nachdem jene größer oder kleiner war.

Aus Fig. 4 ist im folgenden die Abhängigkeit der Zweigstromstärke vom Druck für konstante Werte von V und J dargestellt; es ergeben sich die Werte von Tabelle 13 und 14:

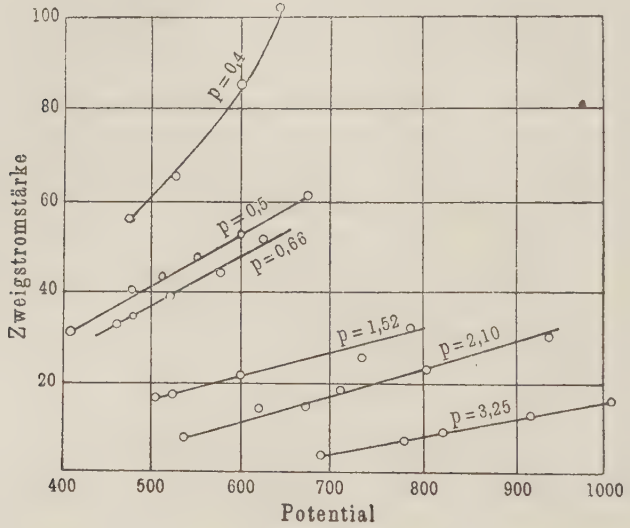

Fig. 4.

Tab. 13.
V = 550

p	i·10⁹
2,24	8
2,10	9
1,52	19
0,66	43,5
0,5	47,7
0,4	70,0

Tab. 14.
V = 675

p	i·10⁹
3,25	3
2,82	6,5
2,24	14
2,10	15,5
1,52	24,5
0,66	58,5
0,5	63,5
0,4	10,5

Die Zweigstromstärke wächst somit für gleiche Potentiale und Hauptstromstärken erst langsam, dann immer rascher; der Verlauf der Kurven bezw. das Wachsen der Zweigstromstärke ist ganz ähnlich wie in Fig. 5.

Bei Drucken unter 1 mm Hg war die Hauptkathode auch bei kleinen Stromstärken vollständig bedeckt; dann wurde die Entladung schwach diskontinuierlich. Gleichzeitig begannen in der positiven Säule der Hauptentladung sich Schichten zu bilden.

Bei einem Druck von 0,34 mm, bei dem die nächste Beobachtung einer Reihe, bei der $J = 5$ Milliampere war, angestellt werden sollte, betrug die Zweigstromstärke für das Potential $V = 600$ etwa $24 \cdot 10^{-8}$ Ampere. Sie begann jedoch, ohne daß sich in der Hauptentladung Stromstärke und Potential merklich änderten, erst langsam, dann rascher zu steigen. Dieses Steigen konnte bis über $5 \cdot 10^{-7}$ Ampère beobachtet werden, dann setzte plötzlich die selbständige Entladung von 2,5 Milliampere ein.

Der Grund für dieses Ansteigen war eine Abnahme des Druckes durch Selbstevakuierung[1]) des Entladungsrohres; die Ursache dieser starken Gasabsorption dürfte wohl, wie bei Versuchen von A. Wehnelt[2]) in der Größe der benutzten Aluminiumkathode zu suchen sein.

Das Ansteigen der Stromstärke wurde sowohl als Funktion der Zeit, als auch des Druckes beobachtet; die Abhängigkeit von der Zeit ließ sich besonders genau beobachten (vgl. Tab. 15 und Fig. 5); bei der Abhängigkeit vom Druck kam der plötzliche Anstieg noch besser zum Ausdruck.

Tabelle 15.

$t^{min.}$	$i \cdot 10^9$ Amp.	$t^{min.}$	$i \cdot 10^9$ Amp.	$t^{min.}$	$i \cdot 10^9$ Amp.
1	72	11	130,5	21	290
2	81	12	137,8	22	321
3	84,8	13	145	23	352
4	89,5	14	152	24	401
5	93	15	158	25	456
6	97,8	16	171,5	26	518
7	102,2	17	195,5	27	635
8	108,8	18	220	28	860
9	115,5	19	246	29	1220
10	121,8	20	265		

Der Druck war hierbei auf 0,18 mm gesunken; nach 30 Min. setzte die selbständige Entladung ein.

Um das allmähliche Sinken des Druckes beobachten zu können, wurde der Versuch wiederholt und zwar alle 3 Min.

[1]) E. Riecke, Ann. d. Phys. (4) Bd. 15, S. 1003. 1904.
[2]) A. Wehnelt, Ann. d. Phys. (4) Bd. 10, S. 554. 1903.

Stromstärke und Druck abgelesen. Die Werte sind in Tab. 16 enthalten. ($J = 5$ MA., $V = 615$ Volt).

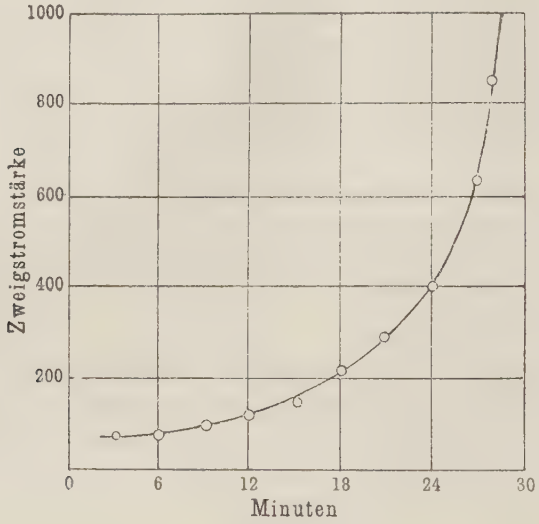

Fig. 5.

Tabelle 16.

t	p	i·10⁹	t	p	i·10⁹
0′	0,29	79,2	18′	0,205	216
3′	0,28	89,1	21′	0,195	267
6′	0,265	110,5	24′	0,190	356
9′	0,25	134	27′	0,188	535
12′	0,235	159	30′	0,184	1090
15′	0,22	180	31′	0,182	22500

Hierauf trat wieder die selbständige Entladung ein; sie war zunächst nur momentan vorhanden d. h. diskontinuierlich mit sehr großen und unregelmäßigen Intervallen, dann wurde sie diskontinuierlich in der gewöhnlichen Art; bei weiterem Sinken des Druckes nahm sie an Intensität zu.

Die selbständige Entladung trat somit, wie oben, bei einem Druck von 0,18 mm ein. Den gleichen Wert erhielt man (0,185), wenn man langsam evakuierte. Hierbei betrug die Hauptstromstärke 5 Milliampere. Für größere Hauptstromstärken tritt die

selbständige Seitenentladung schon bei höheren Drucken auf, für kleinere erst bei tieferen, was aus Tab. 17 hervorgeht.

Tabelle 17.

$J \cdot 10^3$	p	V	$J \cdot 10^3$	p	V
20	0,475	830	7,5	0,23	685
16	0,38	760	5,0	0,185	620
15	0,345	740	2,5	0,162	615
10	0,28	720	1,0	0,139	600

Den Einfluß des Potentials zeigt der folgende Versuch. Bei einer Hauptstromstärke von 10 Milliampere setzte die selbständige Entladung bei 0,275 mm ein, wenn das Potential 700 Volt betrug, verwandte man durch Verschieben der Kathode ein Potential von 500 Volt, so trat sie erst bei 0,200 mm ein. Ebenso ergab sich bei 20 Milliampere für das Potential 830 Volt der Druck 0,475 mm, für 635 Volt 0,325 mm.

Bei einer weiteren Beobachtungsreihe mit einer neuen Luftfüllung ergaben sich durchweg höhere Werte für die „kritischen" Drucke; nachdem aber das das Phosphorpentoxyd enthaltende Gefäß gereinigt und frisch gefüllt war, ergaben sich Werte, die mit den früher gefundenen recht gut übereinstimmten. Vgl. Tab. 18, in der die mit einem Stern bezeichneten Reihen die früheren Beobachtungen enthalten.

Tabelle 18.

$J \cdot 10^3$	V	p	$J \cdot 10^3$	V	p
*5	620	0,185	*10	700	0,275
5	675	0,195	*10	500	0,200
5	600	0,170	10	720	0,290
*10	700	0,280	10	590	0,210

Der selbständige Zweigstrom ist ebenso wie die Hauptentladung bei Drucken zwischen 0,1 und 0,4 mm etwas diskontinuierlich; seine Intensität wächst direkt proportional der des Hauptstromes. Das Verhältnis i : J ist bedingt durch die Längen des Haupt- bezw. Zweigrohres, gemessen von der Verzweigungs-

stelle gegen die Kathoden, d. h. durch das Potential V an der Verzweigungsstelle. Wird dieses durch Zurückziehen der Kathode im Hauptrohr vergrößert, so steigt der Zweigstrom. Weiterhin ist der Druck von Einfluß, da von ihm der Gradient und der (anomale) Kathodenfall abhängig ist. Verwendet man als Elektrizitätsquelle eine Influenzmaschine und schaltet in die Zuleitung eine Funkenstrecke, so tritt die selbständige Entladung im Zweigrohr entsprechend den großen „wahren Stromstärken" bei der diskontinuierlichen Entladung[1]) schon bei hohen Drucken auf.

Abhängigkeit der Intensität des unselbständigen Zweigstromes von der Kathodenfläche im Zweigstrom.

Um auch andere Kathoden als Drähte verwenden zu können, wurde statt des engen Schliffes an das Zweigrohr ein Schliff von der gleichen Weite wie das Entladungsrohr selbst angesetzt. Statt des früheren 4 mm dicken und innerhalb des Rohres 19 cm langen Aluminiumdrahtes wurde zunächst ein 3 mm dicker, 19 cm langer Draht verwandt, an dem vorne eine dünne Platte vom Durchmesser 1,9 cm angenietet war.

Um Zahlen zu erhalten, die mit den früheren Werten vergleichbar waren, wurde wie früher die Hauptstromstärke konstant gehalten und die Abhängigkeit der Zweigstromstärke vom Potential bestimmt. Der Verlauf der Kurven war der gleiche wie früher; nur war der Anstieg bei gleichen Drucken mit wachsendem Potential steiler wie früher, da die Zweigstromstärken für gleiche Drucke und Hauptstromstärken etwa doppelt so groß waren als bei den früheren Beobachtungen. Dies schien zunächst darauf hinzuweisen, daß sie etwa proportional der Kathodenoberfläche sind, die in den beiden Fällen 24 bezw. 40,5 qcm betrug.

Es wurde jetzt als Kathode ein einseitig geschlossenes Aluminiumrohr von 11 cm Länge und 1,4 cm Durchmesser verwandt. An dieses wurde eine abschließende Platte von gleichem Durchmesser mit Aluminiumlot angelötet, in die ein dünner, nach rückwärts durch den Schliff führender Aluminium-

---

[1]) J. Würschmidt, Inaug.-Diss. Erlangen 1909, S. 19.

draht eingenietet war. Über diesem befand sich ein Glasrohr von der Weite des Aluminiumrohres; es war an diesem mit etwas Siegellack befestigt. So wurde erreicht, daß nur die Vorder- und Seitenfläche der Kathode mit dem Gas des Entladungsrohres in Berührung kam. Diese Oberfläche betrug etwa 85 qcm.

Es ergaben sich hierbei Werte von i, die etwas mehr als doppelt so groß waren als die vorigen, dies entspricht recht gut dem Verhältnis der Kathodenoberflächen.

Da sich nach Auswechslung der Kathode nicht wieder genau die gleichen Entladungsverhältnisse herstellen ließen, so wurden bei den folgenden Versuchen meist zwei Kathoden durch einen mit zwei Ansatzrohren versehenen Schliff in das Zweigrohr eingeführt.

Zunächst ergaben sich die gleichen Stromstärken, wenn man zwei identische Drahtkathoden verwandte, die gleichweit von der Achse abstanden. Es ist somit ohne Einfluß, welche Kathode näher an der Anode des Hauptrohres liegt; Drehen des Schliffes mit den Kathoden um 180° rief keine Änderung hervor.

Verwandte man als Kathode zwei gleichlange Drähte vom Radius 2 bezw. 3 mm, die wieder gleichweit von der Achse entfernt waren, so war der Strom durch die Kathode mit der größeren Oberfläche zwar größer; jedoch war das Verhältnis der Stromstärken nicht gleich dem der Oberflächen (1,5), sondern, wie Beobachtungen bei den verschiedensten Versuchsbedingungen ergaben, bedeutend kleiner (im Mittel 1,15). Es müssen also die einzelnen Teile der Kathode in verschiedener Weise an der Stromleitung beteiligt sein.

Zur näheren Untersuchung wurden zwei konzentrische Kathodenflächen verwandt. Die eine ist eine Kreisscheibe vom Radius 7 mm, die andere ein Ring mit den Radien 9,5 und 16,75 mm. Hinaus berechnet sich das Verhältnis der Oberflächen $R : K = 3{,}88$. Beide waren auf eine Glimmerplatte aufgekittet und mittels dünner in Glasröhren gekitteter Drähte in den Schliff eingesetzt. Tab. 19 gibt die beobachteten Werte für $J = 10$ MA.

Tabelle 19.

		p = 1,71			
V	530	630	740	910	875
$i_k \cdot 10^9$	14,9	21,2	25,7	41,7	34,2
$i_r \cdot 10^9$	21,4	30,9	36,5	57,6	47,2
$i_k : i_r$	1,43	1,42	1,42	1,37	1,38
		p = 1,02			
V	530	775	690	560	520
$i_k \cdot 10^9$	24,3	54,0	34,2	31,5	23,0
$i_r \cdot 10^9$	35,1	69,3	50,4	44,6	34,2
$i_k : i_r$	1,42	1,28	1,48	1,42	1,48
		p = 0,96			
V	700	750	590	500	480
$i_k \cdot 10^9$	72,9	94,5	49,5	37,8	37,4
$i_r \cdot 10^9$	91,8	118,8	65,7	53,6	52,2
$i_r : i_k$	1,26	1,26	1,32	1,41	1,29
		p = 0,39			
V	485	505	540	610	700
$i_k \cdot 10^9$	120	134	155	202	400*
$i_r \cdot 10^9$	144	166	195	244	480*
$i_r : i_k$	1,20	1,24	1,26	1,21	

* Es setzt die selbständige Entladung an beiden Kathoden ein.

Das Verhältnis $i_r : i_k$ liegt somit zwischen 1,20 und 1,49, ist also bedeutend kleiner als das Verhältnis der Oberflächen.

Auch wenn beide Teile, Ring und Kreisscheibe gleichzeitig zur Erde abgeleitet werden (vgl. hierzu die folgenden Versuche), ging relativ mehr durch die Kreisscheibe; das Verhältnis der Stromstärken betrug 2,39 : 1; folglich war bei den gewählten Dimensionen das Verhältnis der mittleren Stromdichten 1,62 : 1.

Um die Stromverteilung längs der Kathode im einzelnen zu untersuchen, wurde eine Kathode von der in der Fig. 6 gezeichneten Form benutzt. Die Aluminiumscheibe s,

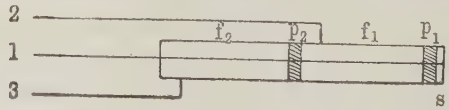

Fig. 6.

die als Vorderfläche diente und eine eigene Zuleitung 1 besaß, war durch eine Ebonitscheibe p_1 gegen den Aluminiumzylinder

f_1 isoliert, dieser durch eine zweite Ebonitscheibe p_2 gegen den Zylinder f_2. f_1 und f_2 besaßen gleichfalls getrennte Zuleitungen. Von den drei Zuleitungen wurde jeweils eine durch das Galvanometer, die beiden anderen durch einen Widerstand von der Größe des Galvanometerwiderstandes geerdet und so der Anteil der einzelnen Teile an der Stromführung bestimmt. Die Fläche der Scheibe s war 1,54 qcm, die Flächen der beiden Zylinder je 23,8 qcm. Es ergab sich folgendes:

1. Der Strom durch die Platte war bedeutend größer als der durch die beiden Zylinder, das Verhältnis der Stromstärken betrug rund 2,9 : 1.

2. Durch den Zylinder f_2 fließt kein mit dem benutzten Galvanometer mehr meßbarer Strom; schaltete man nämlich f_2 aus, so ging durch f_1 noch der gleiche Strom, wie vorher durch $f_1 + f_2$; umgekehrt, schaltete man f_2 zum Galvanometer, f_1 und s zum Widerstand, so zeigte das Galvanometer keinen Ausschlag.

Als wesentlich wirksam kommt also die Vorderfläche der Kathode in Betracht; bei den oben gewählten Dimensionen der Kathode ist die Stromdichte für die Seitenflächen etwa $^1/_{70}$ der für die Vorderfläche.

Indirekt ließ sich dieses Verhalten auch durch folgenden Versuch beweisen. Verwandte man, ähnlich wie früher, zwei gleiche Kathoden, und zwar Platten von gleichem Radius, und stellte die eine 2 cm weiter ins Rohr als die andere, so floß, wenn man sie beide gleichzeitig zur Erde ableitete, durch die vordere nahezu doppelt so viel (1,78) Strom als durch die hintere. Schaltete man sie einzeln ein, so waren die Stromstärken nur wenig voneinander verschieden (1,1 : 1), vgl. das folgende.

Abhängigkeit der Intensität des Zweigstromes von der Länge des Zweigrohres.

Wie eben erwähnt, nahm die Intensität des Zweigstromes, wenn auch nur wenig, zu, wenn die Kathode des Zweigrohres weiter in das Zweigrohr hineingeschoben war. Es wurde deshalb diese Zunahme untersucht, wenn die Kathode weiter und weiter der Verzweigungsstelle genähert wurde. Tab. 20—23 und Fig. 7 zeigen die Zunahme der Stromstärke; dieser Verlauf wurde bei allen Versuchen beobachtet.

Tabelle 20.

Versuchsbedingungen: Kathode: Kreis vom Radius 1 cm.

$p = 1{,}82$. $J = 17{,}5$. $V = 530$.

Abstand	$i \cdot 10^9$	Abstand	$i \cdot 10^9$
200	14,6	119	88
170	26,6	109	123
149	44,5	99	183
139	53,2	89	226
129	66,5	86	Überg. z. selbst. Entl.

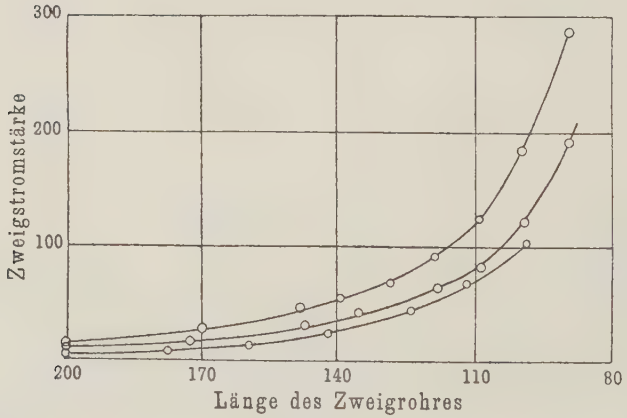

Fig. 7.

Tabelle 21.

$p = 2{,}74$. $J = 20$. $V = 550$.

Abstand	$i \cdot 10^9$	Abstand	$i \cdot 10^9$
200	11,1	109	84
173	15,1	99	121
148,5	30,0	89	188
136	43,6	86	Überg. z. selbst. Entl.
119	60,3		

Tabelle 22.

p = 3,4. J = 13. V = 600.

Abstand	$i \cdot 10^9$	Abstand	$i \cdot 10^9$
200	7,4	137,5	27,8
180	10,1	122	46
159	15,7	102,5	94

Tabelle 23.

p = 3,0. J = 13. V = 580.

Abstand	$i \cdot 10^9$	Abstand	$i \cdot 10^9$
200	10,1	125	47
177,5	13,4	112,5	72
160	18,4	90	105
143	28,5		

2. Anode im Zweigrohr.

Wurde die Elektrode im Zweigrohr als Anode verwandt, d. h. im Hauptrohr die Anode geerdet und an die Kathode ein hohes negatives Potential gelegt, so ergaben sich relativ größere Zweigströme als im früheren Falle. War z. B. die Elektrode eine Al-Platte vom Radius 1,6 cm, wie sie zu den weiter unten beschriebenen Versuchen benutzt wurde, so hatte man folgende zusammengehörige Werte erhalten:

Tabelle 24.

Elektrode im Zweigrohr Kathode.

$J \cdot 10^3$	p	V	$i \cdot 10^9$
10	2,1	530	9
10	1,6	400	20
10	0,61	400	94
10	0,38	338	300

Jetzt ergaben sich folgende Werte:

Elektrode im Zweigrohr Anode.

$J \cdot 10^3$	p	V	$i \cdot 10^9$
10	2,3	500	91
10	1,8	500	800
10	1,65	500	2300

Sehr kleine Werte der Zweigstromstärke wurden auch in diesem Fall dann gemessen, wenn sich die Verzweigungsstelle vor dem dunklen Raum befand.

Steigerte man entweder Hauptstromstärke oder Potential, so wuchs die Zweigstromstärke genau in der gleichen Weise wie früher zuerst langsam, dann rascher und rascher, wofür Tab. 25—29 Beispiele geben.

Tabelle 25.
(p = 2,92.)

$J \cdot 10^3$	V	$i \cdot 10^9$
5	550	0,3
7,5	540	6,0
10	530	9,4
15	515	18,8
20	500	46
25	495	113
30	485	256

Tabelle 26.
(p = 2,92.)

$J \cdot 10^3$	V	$1 \cdot 10^9$
5	640	13,7
7,5	620	29,0
10	600	44,5
15	590	94
20	565	217
21	560	274

Tabelle 27.
(p = 3,56)

$J \cdot 10^3$	V	$1 \cdot 10^9$
5	695	13,6
10	670	37,6
15	640	79
19	620	159

Tabelle 28.
(p = 3,56.)

$J.10^3$	V	$1 \cdot 10^9$
5	530	2,0
10	540	4,8
15	550	9,4
20	570	30,7
25	560	79
30	540	180

Tabelle 29.
p = 1,35. J = 10.

V	$i \cdot 10^9$	V	$1 \cdot 10^9$
300	567	425	1560
340	820	500	3590
400	1120	545	7500

Bei Drucken größer als 4 mm waren für J = 10 Milliampere und V = 700 Volt die Zweigströme kleiner als 10^{-9} Ampere. Die Änderungen in den Potentialen in den Tab. 25—29 wurden durch (magnetische) Verschiebung der Anode des Hauptrohres herbeigeführt, da ja in diesem Fall das „Verzweigungspotential“ das Potential der Verzweigungsstelle gegen die geerdete Anode ist.

Ging man zu tieferen Drucken über, so wuchs zunächst der Zweigstrom mit abnehmendem Druck; da aber gleichzeitig das Verzweigungspotential infolge des mit abnehmendem Druck

gleichfalls sinkenden Gradienten der positiven Säule[1]) immer kleiner wird, so nehmen dann auch die Zweigströme wieder ab, wie aus der Tab. 30 hervorgeht.

Tabelle 30.

(J = 10.)

p	V	$i \cdot 10^9$	p	V	$i \cdot 10^9$	J
2,36	705	44	0,065	120	40	10
2,12	620	88			80	4,5
1,95	500	154			52	3
1,50	400	256			50	2,5
1,18	340	186				
0,70	300	150	0,032	83	50	2,5
		174			49	2
0,56	240	91			53	2
		103	0,027	83	58	2
0,22	160	56				
		41	0,026	83	35	1

Hierzu sei folgendes bemerkt. Beim Druck $p = 1{,}18$ mm beginnt die Hauptentladung geschichtet zu werden; bei den tieferen Drucken, bei welchen Schichtung vorhanden ist, hängt die Intensität des Zweigstromes von der Lage der Schichten gegenüber der Verzweigungsstelle ab; befindet sich der leuchtende Teil einer Schicht vor ihr, so ist die Zweigstromstärke größer, als wenn der dunkle Raum zwischen zwei Schichten vor ihr liegt. Vgl. hierzu auch die Beobachtungen im III. Teil.

Während in dem früher behandelten Fall unter geeigneten Bedingungen sich die Entladungsform plötzlich änderte, indem sich eine leuchtende Entladung im Zweigrohr ausbildete, war jetzt der Übergang zu den größeren Stromstärken in den meisten Fällen kontinuierlich; der Raum zwischen der Verzweigungsstelle und der Anode im Zweigrohr blieb dunkel, auf der Anode dagegen bildete sich eine mit wachsender Stromstärke an Intensität zunehmende Bedeckung aus. Bei kleinen Zweigströmen konnte die Bedeckung nicht gesehen werden. Nur in dem Falle, daß man aus dem dunklen Raum abzweigte und somit die Zweigströme kleiner als 10^{-9} Ampère waren, war es bei

1) Handbuch der Physik Bd. IV, S. 514.

großem Verzweigungspotential möglich, den plötzlichen Übergang zur leuchtenden Entladung zu beobachten.

Dieser Übergang trat besonders dann auf, wenn im Hauptrohr der Druck so gewählt wurde, daß, wie oben erwähnt, zwei Entladungsformen möglich waren.

In dem Falle, daß im Hauptrohr positives Licht vorhanden und die Anodenbedeckung klein war, trat im Zweigrohr die leuchtende Entladung ein ($p = 2{,}82$; $J = 4$ Milliampere). War aber kein positives Licht und eine große Anodenbedeckung vorhanden, dann setzte im Zweigrohr die leuchtende Entladung auch dann noch nicht ein, wenn man die Hauptstromstärke bis 5,5 Milliampere steigerte. Erst wenn bei weiterer Steigerung die Hauptentladung in die erste Form umschlägt, tritt auch im Zweigrohr die Entladung auf. Umgekehrt tritt bei der ursprünglich vorhandenen ersten Form oft bei Einsetzen der Zweigentladung durch die hierdurch bewirkte Verminderung der Hauptstromstärke die zweite Form im Hauptrohr auf. Schaltet man dann den Zweigstrom einen Moment aus und stellt hierauf die Verbindung zur Erde wieder her, so tritt keine leuchtende Entladung mehr auf.

Es tritt häufig der Fall ein, daß sich, besonders wenn frische Luft in das Entladungsrohr eingelassen wurde, der Gasinhalt und damit das Aussehen der Entladung, während längere Zeit Strom durchgeht, ändert. Die anfangs rötlich gefärbte und sehr ausgedehnte positive Säule wird graublau und zieht sich beträchtlich zusammen. Bei passender Wahl des Druckes konnte man es erreichen, daß nach einiger Zeit die Verzweigungsstelle sich vor dem dunklen Raum befand; dies kam in der Änderung der Größe des Zweigstromes zum Ausdruck, wie aus Tab. 31 hervorgeht.

Tabelle 31.

($p = 1{,}86$)

$J \cdot 10^3$	V	$i_1 \cdot 10^9$	$i_2 \cdot 10^9$
5	480	1,7	27,4
10	420	27,4	75
20	390	137	323

Nachdem bisher die Intensität der Zweigströme in ihrer Abhängigkeit von den für die Hauptentladung bestimmenden Größen und von der Lage und Länge des Zweigrohres bei Ver-

wendung einer Luftfüllung des Entladungsrohres untersucht worden war, wurden im folgenden diese Messungen auf ungemischte Gase ausgedehnt. Besonders von Interesse erschien es, den Einfluß der Lage der Verzweigungsstelle gegenüber den einzelnen Teilen der Hauptentladung genauer zu untersuchen.

II. Füllung mit Stickstoff.

Das Entladungsrohr hatte die gleiche Form wie früher, die Elektrode des Zweigrohres war ein Aluminiumdraht von 3 mm Durchmesser, sein Abstand von der Mitte der Hauptentladung (der das Verzweigungspotential messenden Sonde) betrug 21,1 mm. Die Kathode des Hauptrohres war magnetisch verschiebbar und zwar konnte sie bis über die Verzweigungsstelle hinaus vorgeschoben werden. Es konnten so nacheinander die folgenden 3 Fälle untersucht werden:

1. Kathode ganz zurückgezogen. Verzweigungsstelle vor der Grenze des dunklen Raumes gegen das positive Licht bezw. vor der positiven Säule.

2. Kathode halb vorgeschoben. V vor dem Faradayschen dunklen Raum.

3. Kathode bis über die Verzweigungsstelle vorgeschoben. V vor dem negativen Licht, das die drahtförmige Kathode bedeckt.

1. Kathode im Zweigrohr.

Die folgenden Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß die Intensität des Hauptstromes durch Regulieren am Jodkadmiumwiderstand geändert und dann die Zweigstromstärke abgelesen wurde. Gleichzeitig sind die jeweiligen Verzweigungspotentiale angegeben.

I. V vor der positiven Säule.

Tabelle 32.

$p = 3{,}06$

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
5	4,2	400
10	8,4	410
15	23,2	420
20	56,3	430
25	98,5	440
30	155	460

Tabelle 33.

$p = 1{,}35$

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
5	11,3	440
10	36,6	470
15	81,5	480
20	155	510
25	282	580
30	620	600

II. V vor dem Faraday-Raum.

Tabelle 34.

p = 3,06

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
5	4,2	300
10	5,6	305
15	7,0	310
20	9,9	320
25	19,0	325
30	35,2	330

Tabelle 35.

p = 1,35

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
5	11,3	340
10	14,1	360
15	18,3	380
20	26,8	400
25	36,6	405
30	52	410

III. V vor dem negativen Licht.

Tabelle 36.

p = 3,06

(Kathode zur Hälfte vor dem Zweigrohr.)

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
5	42,3	240
10	51,4	
15	60,5	
20	69	
25	82	
30	98	

Tabelle 37.

p = 3,06

(Kathode ganz über die V.-St. geschoben.)

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
5	92	240
10	103	
15	120	
20	144	
25	168	
30	197	

Tabelle 38.

p = 1,35

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
5	78	280
10	127	
15	183	
20	239	
25	352	
30	563	

Die Tabellen 32—38 zeigen in allen 3 Fällen das zunächst langsame, dann raschere Steigen der Zweigstromstärken. Wie früher sind die Zweigströme aus dem dunklen Raum kleiner als die aus der positiven Säule; entsprechend ist ihr Anstieg mit wachsender Hauptstromstärke weniger steil. Die Ströme aus dem negativen Licht zeigen einen Anstieg etwa wie die aus dem dunklen Raum; jedoch sind die Werte bedeutend höher; sie sind selbst für die kleinste hier verwandte Hauptstromstärke 5 Milliampere schon so groß, daß es von Interesse erschien, den Verlauf für noch kleinere Hauptstromstärken bis zur Annäherung an $J = 0$ besonders zu untersuchen.

Die Tabellen 39—43 geben die beobachteten Werte; die nach Tab. 40 gezeichnete Kurve Fig. 9 gibt den Verlauf, der bei allen 5 Reihen der gleiche ist.

Tabelle 39.

$p = 2{,}44$

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$
0,6	12,7
0,85	17,5
1,15	23,9
1,5	28,2
2,0	35,2
3,0	38,7
3,5	38,0
4,0	38,0
4,5	38,0
5,0	38,0
5,5	38,3
6	37,8
7	38,4
8	42,2
9	46,5
10	50,0

Tabelle 40.

$p = 1{,}40$

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$
0,1	9,8
0,3	17,6
0,8	33,5
1	37,0
1,65	42,2
1,75	40,8
2	39,8
2,5	37,0
3,0	36,6
3,25	37,3
3,5	38,7
3,75	40,8
4,0	42,5
4,5	47,1
5	52
5,5	56
6	61
6,5	67
7	72
8	82
9	92
10	103

Tabelle 41.
p = 1,19

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$
0,2	4,9
0,5	11,3
0,7	16,9
1,5	40,8
2	42,2
3	37,0
3,5	39,4
4	40,8
4,5	44,8
5	47,8
6	55
7	62
0,85	22,6
2,5	40,8
1,4	39,4

Tabelle 42.
p = 1,06

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$
0,2	12,7
0,4	22,5
0,7	35,9
0,9	38
1	39,4
1,25	42,9
1,5	43,6
1,75	39,4
2	38
2,25	38
2,5	38
2,63	38
2,75	38
3	38
3,3	40,8
3,5	42,3
3,75	44,8
4	47,8
4,5	55
5	62

Tabelle 43.
p = 0,78

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$
0,25	18,3
0,75	51,3
1	56,4
1,6	50,7
1,85	49,3
0,5	42,2
2,5	53,6
3	61
4	74
5	89
6	104
7	119

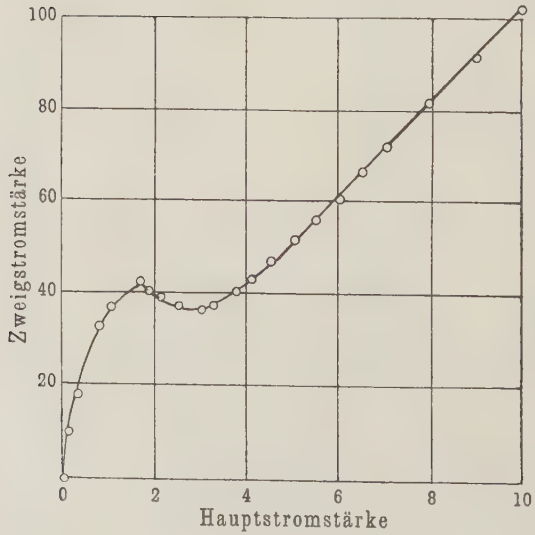

Fig. 8.

Das anfängliche Maximum ist auf den deutlich ausgeprägten Rand der Kathodenbedeckung[1]) zurückzuführen. Solange die Kathodenbedeckung, die für kleine Stromstärken bei mittleren Drucken klein ist, wächst, wächst auch die Intensität des Zweigstromes und erreicht das Maximum, wenn der umgebogene Rand der Bedeckung sich vor der Verzweigungsstelle befindet. Rückt dieser weiter vor, so daß nur der regelmäßige Teil der Bedeckung vor der Verzweigungsstelle liegt, so sinkt die Zweigstromstärke wieder etwas, hierauf beginnt sie wieder zu wachsen und zwar zunächst proportional der Stromstärke des Hauptstromes. Bei dem Druck 2,44 mm ist der Rand der Bedeckung noch nicht so deutlich ausgeprägt, infolgedessen ist auch das Maximum noch nicht so deutlich; bei den tieferen Drucken treten beide Erscheinungen immer deutlicher hervor.

2. Anode im Zweigrohr.

Die Versuche wurden mit dem gleichen Rohr, wie die vorigen ausgeführt; hierbei waren die Zweigströme klein, da Verzweigungspotentiale klein waren. Vergrößerte man diese so weit als möglich, so erhielt man wieder Zweigströme, die relativ größer waren, als wenn sich unter sonst gleichen Verhältnissen (Hauptstromstärke. Druck und Potential) im Zweigrohr eine Kathode befindet. Die Anode ist von schwach leuchtendem rötlichen Licht bedeckt, was bei größeren Stromstärken deutlich hervortritt.

III. Füllung mit Wasserstoff.

Da es nicht möglich war, wieder genau die gleichen Entladungsverhältnisse, besonders den gleichen Druck, herzustellen, so wurden im folgenden die beiden Fälle, daß die Zweigelektrode entweder Kathode oder Anode ist, gemeinsam behandelt. Die folgende Tabelle enthält die bei verschiedenen Hauptstromstärken und Potentialen gemessenen Zweigstromstärken. Da es sich um Stromstärken sehr verschiedener Größenordnung handelt, wurde stets zuerst ein kleiner Nebenschlußwiderstand des Galvanometers eingeschaltet, um große Ströme nicht durch das Galvano-

---

[1]) J. J. Thomson, Elektrizitätsdurchgang in Gasen, S. 461.

meter zu schicken. An den Stellen der Tabellen, bei welchen die Angaben fehlen, waren die Zweigströme größer als $^1/_2$ Milliampère. Unter der Rubrik „Bemerkungen“ findet sich die Angabe über die Lage der Verzweigungsstelle gegenüber den Teilen der Hauptentladung. Diese tritt in Wasserstoff schon bei höheren Drucken auf als in Luft oder Stickstoff.

Tabelle 44.

$p = 6{,}64$

1. Kathode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
3,65	219	230	
5	265	222	Kathode
10	347	231	
3,2	2,8	370	Faraday-
5	4,2	388	Dunkel-
10	7,7	420	raum
5	12,7	527	Faraday-
10	26,8	527	D.-R.
5	70	425	Anode
10	118	480	

2. Anode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
5	—	286	Kathode
10	—	360	
3,4	0,7	378	Faraday-
5	2,1	421	Dunkel-
10	21	459	raum
5	127	540	Faraday-
10	2800	738	D.-R.
3	56	53,1	Anode
5	76	57,1	
10	136	62,1	

Tabelle 45.

$p = 2{,}40$

1. Kathode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
10	31	510	F.-D.-R.
10	48	480	Anode viertels vor der Verzw.-Stelle
10	184	430	Anode halb v. d. V.
10	270	725	Anode ganz v. d. V.

2. Anode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
10	—	252	Kathode halb v. d. V.
10	—	362	Kathode ganz v. d. V.
10	1210	510	Faraday-
10	2480	600	D.-R.

Tabelle 46.

$p = 1{,}58$

1. Kathode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
5	230	247	Kathode halb v. d. V.
10	460	268	
5	247	243	Kathode ganz v. d. V.
10	494	262	
5	46	285	F.-D.-R.
10	93	313	
5	116	328	Anode ganz v. d. V.
10	200	300	
5	162	369	Anode halb v. d. V.
10	370	403	

2. Anode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
5	—	157	Kathode
10	—	151	
5	101	104	F.-D.-R.
7,5	278	104	
10	556	103	
5	147	367	F.-D.-R.
10	365	405	
5	132	222	F.-D.-R.
10	262	239	
5	123	33	Anode
10	202	33	

Tabelle 47.

$p = 0{,}98$

1. Kathode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
5	478	295	Kathode
10	1080	341	
5	124	343	F.-D.-R.
10	232	398	
5	278	400	Pos. Säule
7,5	540	420	
10	725	443	
5	324	382	Anode
10	525	388	

2. Anode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
5	3400	124	Kathode
10	—	124	
5	162	163	F.-D.-R.
10	263	162	
5	432	85	Pos. Säule
10	725	83	
5	201	35	Anode
10	355	35	

Tabelle 48.

$p = 0{,}42$

1. Kathode im Zweigrohr.

Hier trat im Zweigrohr in allen Fällen die selbständige Entladung auf. Die Verzweigungspotentiale lagen zwischen 385 Volt, wenn die Kathode, und 430 Volt, wenn die Anode vor der Verzweigungsstelle war.

2. Anode im Zweigrohr.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	Bemerkungen
5	—	102	Kathode
5	232	122	F.-D.-R.
10	—	127	
5	960	79	Pos. Säule
10	1520	78	
5,3	278	37	Anode
10	620	37	

Aus den Tabellen 44—48 geht folgendes hervor:

In beiden Fällen sind die Zweigströme am kleinsten, wenn man aus dem Faradayschen dunklen Raum abzweigt, größer, wenn aus der positiven Säule. Bedeutend größer sind sie, wenn die Anode der Hauptentladung und noch größer, wenn die Kathode vor der Verzweigungsstelle liegt. Im 1. Fall (Kathode im Zweigrohr) tritt bei tiefen Drucken eine leuchtende Entladung (mit anomalem Kathodenfall) ein, im 2. Fall (Anode im Zweigrohr) ist meistens eine leuchtende Entladung vorhanden, deren Stromstärke größer ist als diejenige der im 1. Fall unter gleichen Bedingungen auftretenden nichtleuchtenden Entladung.

Ferner ist noch hervorzuheben, daß die leuchtende Entladung in beiden Fällen auch dann noch bestehen bleibt, wenn die Versuchsbedingungen so geändert werden, daß eigentlich die nichtleuchtende Entladung auftreten müßte.

Hauptstromstärke und Potential sind ebenso wie bei den früheren Versuchen von Einfluß auf die Intensität des Zweigstromes, und zwar bewirkt ihre Steigerung ein erst langsames, dann rascheres Ansteigen desselben.

Mit abnehmendem Druck wächst die Intensität des Zweigstromes; im 1. Fall tritt eine leuchtende Entladung ein, im 2. Fall dagegen nehmen bei abnehmendem Druck die Verzweigungspotentiale so stark ab, da die Zweigströme nicht weiter wachsen.

H. A. Wilson[1]) hatte unter Benutzung transversaler Elektroden gefunden, daß der Querstrom, welcher auftritt, wenn man an die Elektroden eine geringe Potentialdifferenz anlegt, seinen Maximalwert im negativen Glimmlicht erreicht, im Faradayschen dunklen Raume nachläßt und in der positiven Säule wieder ansteigt, während er bei der geschichteten Entladung ein Maximum an den leuchtenden Teilen der Schichtung, ein Manimum an den dunklen hat. In Übereinstimmung hiermit ergaben die vorliegenden Messungen an Zweigströmen, daß diese am größten sind, wenn aus leuchtenden Teilen der Hauptentladung abgezweigt wird. Die eine Quelle der Jonisation an der Verzweigungsstelle sind

[1]) H. A. Wilson, Phil. May Vol. 5 (49), p. 505. 1900.

die (negativen) Elektronen, die, wie A. Wehnelt[1]) zeigte, kurz vor dem leuchtenden Teile der Schichten eine solche Geschwindigkeit erreicht haben, daß sie wieder zu ionisieren vermögen, die zweite Quelle der Ionisation sind die Wiedemannschen[2]) Entladungsstrahlen, die von den leuchtenden Teilen der Entladung, z. B. von der leuchtenden positiven Säule und speziell von den leuchtenden Teilen der Entladung zunächst der Kathode, jedoch nicht vom Faradayschen Dunkelraume ausgehen[3]).

B. Potentialverteilung im Zweigrohr.

I. Kathode im Zweigrohr.

1. Füllung mit Luft.

Vorversuche.

Als Kathode diente eine möglichst blanke Aluminiumkreisscheibe vom Radius 1,6 cm, die an einem dünnen Aluminiumdraht festgenietet war. Die Rückseite der Scheibe und der Draht war mit einer dünnen Siegellackschicht bedeckt. Als Sonden dienten zunächst Platindrähte vom Durchmesser 0,1 mm, die bis auf eine Länge von 4 mm in Glas eingebettet waren. Der Abstand der Sonden wurde in der Weise bestimmt, daß unmittelbar vor je 2 Sonden vor das Rohr eine in $^1/_2$ mm geteilte Glasskala, dahinter eine matte Glühlampe gestellt und die Lage der Sonden mittels eines gut vergrößernden Fernrohres aus einer Entfernung von über $2^1/_2$ m abgelesen wurde. Die Abstände der Sonden betrugen: (K 1) = 13,5 mm (K ist die geerdete Kathode des Zweigrohres), (12) = 74 mm, (23) = 62 mm und (34) = 81 mm. Die Potentialdifferenz (K 1) wird im folgenden häufig als „Kathodenfall“ bezeichnet, allerdings nicht im strengen Sinne, da als solcher die Potentialdifferenz zwischen der Kathode und einem Punkt des negativen Glimmlichts bezeichnet wird[4]); bei dem gewählten Abstande mißt übrigens die Sonde 1 für die selbständige Entladung angenähert den (anomalen) Kathodenfall.

---

[1]) A. Wehnelt, Sitzungsber. d. Phys.-med. Soz. Erlangen, Bd. 42, S. 93. 1910.

[2]) E. Wiedemann, Zeitschr. für Elektrochemie, S. 159. 1895.

[3]) J. J. Thomson, Elektrizitätsdurchgang in Gasen, S. 508; Proc. Camb. Phil. Soc. Vol. 10, p. 74. 1899.

[4]) J. J. Thomson, Elektrizitätsdurchgang in Gasen, S. 458.

Die Versuche ergaben zunächst, daß sich die Sonden um so langsamer aufladen, je näher sie der Kathode stehen, d. h. je weiter sie von der Hauptentladung entfernt sind. So wurden z. B. für den Potentialfall (K 1) folgende Elektrometerausschläge abgelesen:

Tabelle 49[1]).

t	e	t	e	t	e
28″	275	4′ 35″	235	8′	223
1′ 3″	265	5′ 45″	230	8′ 25″	222
1′ 58″	255	7′	235	8′ 50″	221
3′ 5″	245	7′ 35″	224	9′ 20″	220

Nach Verlauf von weiteren 2 Minuten blieb die Skala bei 219 stehen und behielt diesen Wert konstant bei. In 5 Minuten traten nur Schwankungen von höchstens 2 mm auf.

Voraussetzung für konstante Potentiale war, daß die Entladung im Hauptstrom schon längere Zeit eingeschaltet war. Nur dann zeigten auch die anderen Meßinstrumente (Braunsches Elektrometer, Galvanometer und Milliamperemeter) konstante Werte.

Um zu untersuchen, ob die Sonde das gleiche Potential annimmt, wenn sie zuvor auf niedrigeres Potential und dann, wenn sie zuvor auf höheres Potential geladen wird, wurde folgende Versuchsreihe angestellt, die den gleichen Wert ergibt.

Tabelle 50.

1. Anstieg vom Potential Null an

t	Sk.-T.	t	Sk.-T.
15″	30	4′ 10″	110
1′ 5″	60	5′ 15″	115
2′	90	6′ 05″	119
2′ 45″	100	8′	121

[1]) Die nach dieser Tabelle konstruierte Kurve zeigt die gleiche charakteristische Form, wie die von W. Westphal, Verh. d. D. phys. Ges. 1910, S. 275 mitgeteilte.

2. Abfall von einem Pot. > 300 Skt.-T.

t	Sk.-T.	t	Sk.-T.	t	Sk.-T.
1'	300	4' 5"	170	11' 30"	132
1' 20"	260	5'	160	13'	129
1' 45"	230	6' 50"	147	14' 15"	126
2' 47	200	8'	142	15'	125
3' 15	180	10' 15"	135	16'	123,5
				17'	121

In gleicher Weise wurde der Verlauf an allen Sonden bebestimmt.

Um eine raschere Aufladung des Elektrometers zu erreichen, wurde vor die Elektrometernadel eine Kapazität, nämlich ein kleiner Plattenkondensator, geschaltet. An den Kondensator werde das Potential V_1 (absolut gegen Erde gemessen), an das Gehäuse des Elektrometers das Potential V_3 angelegt. Die zweite Kondensatorplatte und die Nadel möge das Potential V_2 haben. Bedeutet C_1 die Kapazität des Kondensators und C_2 die des Elektrometers, so ist die Elektrizitätsmenge auf der einen Kondensatorplatte $Q = C_1 (V_1 - V_2)$, und ebenso die auf der Nadel influenzierte $Q = C_2 (V_2 - V_3)$. Da die Kapazität C des ganzen Systems durch $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ gegeben ist, so folgt $Q = C (V_1 - V_3)$. Die Ablenkung der Elektrometernadel ist (nahezu) proportional der Potentialdifferenz zwischen Nadel und Gehäuse; also

$$\alpha = h \cdot (V_2 - V_3) = \frac{h \cdot Q}{C_2} = h \frac{C}{C_2} (V_1 - V_3) = h \frac{C_1}{C_1 + C_2} (V_1 - V_3).$$

Ist C_1 groß gegen C_2, dann geht die Formel in die gewöhnliche über; ist dagegen C_1 von derselben Größenordnung wie C_2, dann ist die Empfindlichkeit im Verhältnis $\frac{C_1}{C_1 + C_2}$ (für kleine C_1 im Verhältnis $\frac{C_1}{C_2}$) verringert zu der Empfindlichkeit ohne Hilfskondensator. Im gleichen Verhältnis ist die zur Aufladung auf ein bestimmtes Potential nötige Elektrizitätsmenge verkleinert.

Das Elektrometer wurde nun, nachdem ein kleiner Kondensator zugeschaltet war, geeicht und der Kondensator ebenso wie das Elektrometer allein auf Isolation geprüft. Der Kondensator war durch Hartgummischeiben isoliert und hatte hölzerne Stützen; wurde er mit der Nadel verbunden und geladen, so nahm die Ladung schon in 40" auf die Hälfte ab; wurde der Hartgummi mit Öl abgerieben und getrocknet, in 1' 20" auf die Hälfte. Erst ein Kondensator mit Hartgummistützen, die außerdem noch durch Bernsteinscheiben isoliert wurden, zeigte genügende Isolation.

Verband man Kondensator und Gehäuse mit den beiden Sonden, so erhielt man Ausschläge, die nicht der Potentialdifferenz derselben entsprachen. Lag das höhere Potential an dem Kondensator, das niedrigere am Gehäuse, so waren die Werte nahezu dem ersten Potential gegen Null entsprechend; es scheint, daß das mit der Mitte der Hilfsbatterie verbundene Gehäuse für die hier in Betracht kommenden sehr kleinen Elektrizitätsmengen doch nicht hinreichend isoliert. Es war somit notwendig, das Gehäuse dauernd zu erden und erst das Potential der einen Sonde gegen Erde, dann das der anderen zu messen und dann hieraus den Gradienten zu berechnen.

Es wurde nun zwar eine Reihe von Potentialmessungen vorgenommen, da aber zuverlässig nur die Potentiale gegen Erde gemessen werden konnten und somit die hieraus gefundenen Werte für die mittleren Gradienten zwischen je zwei Sonden ziemlich ungenau wurden, und da die Aufladungszeiten immer noch relativ lang waren, so wurde diese „Kondensatormethode" wieder verlassen. Es zeigte sich, daß bei Verwendung von wesentlich längeren und dickeren Sonden, wie zu erwarten, die Aufladungszeit bedeutend verkürzt wurde. Deshalb konnte das Elektrometer in der gewöhnlichen Schaltung benutzt und direkt die Potentialdifferenzen zwischen den Sonden gemessen werden. Die Sonden hatte eine Länge von etwa 3 cm und einen Radius von 0,2 mm.

Beobachtungen.

1.

Es wurden die Potentiale zwischen den einzelnen Sonden zunächst bei konstanter Hauptstromstärke $J = 10$ MA. ge-

messen. Die Werte, die zugehörigen Intensitäten der Zweigströme und die Drucke sind in Tab. 51 mitgeteilt, unter g sind die hieraus berechneten mittleren Gradienten angegeben.

Tabelle 51.

$i \cdot 10^9$	54	59	193	340	640	selbst.
p	1,65	0,90	0,49	0,37	0,31	0,24
(K1)	58	53	43	53	53	530
(12)	322	260	250	261	249	48
(23)	212	193	168	158	142	43
(34)	75	50	47	56	56	78
V	667	556	508	528	500	699
g_{k_1}	43	39	32	39	39	—
g_{12}	43,5	35	34	35	33,5	6,5
g_{23}	34	31	27	25,5	23	6,9
g_{34}	9,3	6,2	5,8	6,9	6,9	9,6

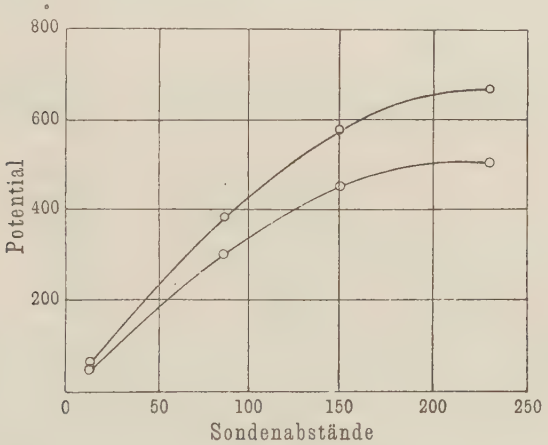

Fig. 9.

Die Kurve für die Potentialverteilung zeigt die in Fig. 9 gezeichnete Form; der Verlauf ist bei allen Drucken im wesentlichen der gleiche. Der Gradient ist am kleinsten in der Nähe der Verzweigungsstelle und wächst mit Annäherung an die Kathode; in der Nähe der Kathode ist er konstant. Wenn die selbständige Entladung im Zweigrohr besteht, ist die Potentialverteilung eine wesentlich andere, da der größte Teil des Gefälles den anormalen Kathodenfall bildet; da sich hierbei auch die Hauptentladung ändert, wird auch das Verzweigungspotential ein anderes.

Vermindert man bei konstantem Druck die Haupt- und damit die Zweigstromstärke, so sinkt das Potential an der Verzweigungsstelle, mithin werden auch die Gradienten kleiner; trägt man die Gradienten als Ordinaten, die Zweigstromstärken als Abszissen auf, so erhält man Kurven, wie die von Wilson[1]) gezeichneten.

Es wurde nun das Verhalten bei Annäherung an die selbständige Entladung untersucht.

Für den sogen. Kathodenfall ergab sich, daß er bei langsam sinkendem Druck, während sich Potential und Hauptstromstärke nicht merklich ändern, die Zweigstromstärke dagegen erst langsam, dann rascher wächst (vgl. oben), zunächst langsam steigt, dann plötzlich in den anomalen Kathodenfall der selbständigen Entladung übergeht. Gut beobachtet konnte, ähnlich wie früher bei der Stromstärke, der zeitliche Verlauf werden (vgl. Tab. 52).

Tabelle 52.

t	(K1)	t	(K1)
0	64,9	4′ 25″	89
1′ 10″	68,7	5 18	102
2 15	73,7	5 35	470
3 28	81		

Ebenso wurden die übrigen Potentialfälle beobachtet. Bei den Potentialdifferenzen (12) und (23) trat ein zuerst ganz langsames, dann plötzliches Fallen auf einen Wert von der Größenordnung des gewöhnlichen Gradienten in der positiven Säule[2]) ein; doch waren die Werte infolge der Schichten in der Entladung und der Diskontinuität ziemlich schwankend. Der Gradient g_{34}, der schon bei der unselbständigen Entladung klein war, änderte sich nur wenig.

Nähere Untersuchung des sogen. Kathodenfalles.

Besonders von Interesse erscheint die Potentialverteilung in der Nähe der Kathode; deshalb wurde eine Reihe von

[1]) H. A. Wilson, a. a. O.

[2]) R. Reiger, Sitzungsber. d. phys.-med. Soz. Erlangen, Bd. 37, S. 96. 1905.

Messungen der Potentialdifferenz (K 1) = K unter verschiedenen Gesichtspunkten angestellt.

Tabelle 53.

	1. J = 5		3. J = 20	
$i \cdot 10^9$	26,6	23,4	88	78
V	570	400	705	520
K	71	51	81	67
V : K	8,0	8,0	8,7	7,8

	2. J = 10				4. J = 30		
$i \cdot 10^9$	47,5	83	68	57	$i \cdot 10^9$	88	96
V	520	720	675	580	V	530	730
K	67	85	77,5	71	K	66	85
V : K	7,8	8,5	8,5	8,1	V : K	8,0	8,5

Das Verhältnis V : K ist bei den verschiedenen Haupt- und Zweigstromstärken, sowie Potentialen nahezu konstant.

Tabelle 54.

p = 0,93

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	K	V : K
10	101	795	81,5	9,78
10	46	460	65,5	7,0
5	68,5	700	78	9,0
5	21,3	380	62	6,1
15	67	480	65,5	7,3
15	128	800	95	8,4
20	147	800	96,5	8,3
20	73,5	505	74	6,8
25	101	510	75,5	6,7
25	170	835	112	7,4
30	115	520	76,5	6,8
30	202	840	119	7,1

Das Verhältnis V : K ist zwar etwas schwankend, doch zeigt sich in den Werten kein Gang nach irgendwelcher Richtung.

Tabelle 55.

$p = 0{,}58$

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	K	V : K
6	27,6	430	94	4,6
6	71	615	111	5,5
10	367	685	121	5,7
10	87	470	96	4,9
20	—	560	—	—
20	650	600	111	5,4
26	1340	660	118	5,6
26	—	670	126	5,3
26	—	700	136	5,2

Bei $J = 20$ MA. trat die selbständige Entladung ein; durch diese stieg der Druck etwas, so daß bald wieder nur die unselbständige Entladung bei erneutem Aus- und Einschalten auftrat.

Tabelle 56.

$p = 3{,}80$

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	K	V : K
5,5	64	430	55,5	7,7
5,5	128	660	81	8,1
20	220	520	66,5	7,8
20	366	830	109	7,6

Tabelle 57.

$p = 2{,}15$

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	K	V : K
20	120	880	110	8,0
20	50	540	74	7,3
12,5	15,6	500	82	6,1
10	12,7	490	106	4,6
7,5	4,9	465	170	2,7
5	1,9	430	202	2,1
1	< 1	330	236	1,4

Aus Tabelle 57 geht hervor, daß das Verhältnis V : K für kleine Zweigströme mit abnehmender Intensität immer kleiner

und kleiner wird, d. h. der Kathodenfall ist dann nicht mehr proportional dem ganzen Potentialgefälle, sondern wird sehr groß im Verhältnis zu diesem.

Die nämlichen kleinen Zweigstromstärken treten, wie oben erwähnt, auch auf, wenn man den Druck so hoch wählt, daß nur eine Anoden- und Kathodenbedeckung, aber keine positive Säule vorhanden ist. Dann nimmt der Kathodenfall gleichfalls den hohen Wert an.

In einigen Fällen wurde er sogar nahezu gleich dem ganzen Gefälle; dann sind die Differenzen zwischen den einzelnen Sonden sehr klein; teilweise wurden auch negative Werte beobachtet, die wohl auf sekundäre Wirkungen wie eine Aufladung des Glasrohres zurückzuführen sind.

Die früheren Beobachtungen hatten ergeben, daß die Zweigströme wieder größer werden, wenn man die Kathode des Hauptrohres direkt vor die Verzweigungsstelle bringt; es wurde deshalb auch für diesen Fall das Verhalten des Kathodenfalles untersucht ([K 1] betrug hierbei 15,5 mm). Die Hauptstromstärke wurde auf 10 Milliampere konstant gehalten und die Kathode der Verzweigungsstelle genähert, hierbei ergeben sich die in Tabelle 58 mitgeteilten Werte, aus denen zunächst das Fallen der Stromstärke verbunden mit Steigen des Kathodenfalles, dann aber, als die Kathode sich vor V befand, das Wachsen der Stromstärke und Sinken des Kathodenfalles hervorgeht.

Tabelle 58.

$p = 1{,}74$

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V	K	V : K
10	48	430	86,5	4,96
10	18,5	380	193	1,97
10	1,96	342	285	1,2
10	12,2	290	106	2,74
10	37	272	62	4,4
10	55	255	64	4,0

3. Bestimmungen des „Potentialssprunges“ unmittelbar an der Kathode.

Da der bisher beobachtete Kathodenfall vom Abstand der Sonde von der Kathode, wie schon aus der Potentialverteilungs-

kurve hervorgeht, stark abhängig ist, so wurde er bei verschiedenen Abständen der Sonde gemessen. Es wurde zu diesem Zweck die Kathode magnetisch verschoben; da bei den in Betracht kommenden geringen Verschiebungen sich die Stromstärke nur so wenig ändert, daß der Kathodenfall bei konstantem Sondenabstand konstant blieb, so wurde damit dasselbe erreicht, wie wenn man die Sonde verschoben hätte.

Die Kurve Fig. 10 enthält als Abszissen die Abstände, als Ordinaten den Kathodenfall; die Abhängigkeit ist linear (vgl. Tabelle 59).

Extrapoliert man hieraus den Wert für $a = o$, so erhält man $K_0 = 45$ Volt.

Tabelle 59.

$p = 1{,}3$. $J = 10$. $V = 510$.

a	K	a	K
31,5	148	6,5	66
24,5	111	5,5	62,5
18	100	2,5	53,7
10	74	1,5	50

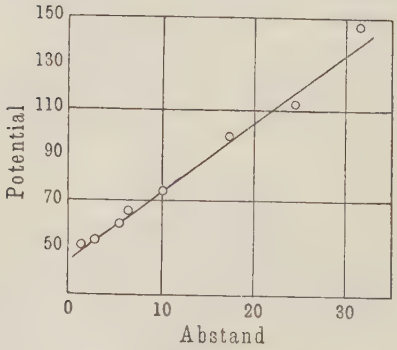

Fig. 10.

In den oben erwähnten Fällen, in welchen der Kathodenfall sehr groß wird, ist auch ein entsprechend hoher Kathodensprung K_0 vorhanden, der aus den Zahlen durch graphische Extrapolation gewonnen wurde. Bei dem ersten Versuche der Tabelle 60 war, wie in Tabelle 57, aus dem dunklen Raume abgezweigt, bei dem zweiten wurde die Erhöhung durch Erniedrigung der Hauptstromstärke erreicht [1]).

[1]) Zum Vergleich ist eine Reihe für $J = 30$ beigefügt.

Tabelle 60.

1. J = 10		2. J = 3		3. J = 30	
a	K	a	K	a	K
40	322	16	124	16	106
24	305	10	114	10	90,5
15,5	295	7,5	99	5,5	59,5
5	285	3	89	2	53
$K_0 = 280$		$K_0 = 74$		$K_0 = 42$	

Die folgenden Messungen wurden mit demselben gleichen Entladungsrohr angestellt, das dann zu den Messungen an den reinen Gasen verwandt wurde. Es unterschied sich von dem oben benutzten außer durch Vermeidung von Fettschliffen und Siegellackkittstellen dadurch, daß nicht die Kathode, sondern die Sonde magnetisch verschiebbar gemacht wurde. Die Kathode war ein Al-Draht von 3 mm Durchmesser, der von der Verzweigungsstelle einen Abstand von 20 cm hatte.

Tabellen 61—66 geben die bei verschiedenen Drucken, Potentialen und Stromstärken abgelesenen Werte für Potentialdifferenz und Abstand von der Kathode, sowie den hieraus extrapolierten Kathodensprung und den mittleren Gradienten in diesem Bereich.

Tabelle 61.

p = 4,00

J = 10 i = 8,4 V = 400		J = 5 i = 7,0 V = 380	
a	K	a	K
10,5	104	8,5	85
7,3	84	7,3	77
5,5	68,5	6	68,5
4,5	60	4,5	56,5
3,5	53	3	48
1,2	38	2,5	46
		1,5	39,5
$K_0 = 28$ g = 73		$K_0 = 28$ g = 66	

Tabelle 62.

p = 2,48

J = 3,5 J = 10

i = 2,8 i = 5,6

V = 320 V = 355

a	K	a	K
11	103	10,5	104
9,5	94	7,3	84
8,5	89	5,5	68,5
5,5	75	4,5	60
4,0	63	3,5	53
3,0	55	1,2	38
2,0	49		
1,3	43		

K_0 = 34 K_0 = 29

g = 73 g = 75

Tabelle 63.

p = 2,20

J = 6 J = 10

i = 16,2 i = 21,8

V = 315 V = 325

a	K	a	K
13,5	99	12	97
10	89	7,5	84
7,5	81	3,5	68
6,3	75	2,5	60
4	65	2	55
3	62	1	51
2	58		
1	54		

K_0 = 49 K_0 = 46

g = 40 g = 47

Tabelle 64.

p = 1,20

J = 10 J = 5

i = 30,3 i = 21,2

V = 325 V = 305

a	K	a	K
11,5	86	12	86
9,5	79	8	72
7	70	6	63,5
3,5	60	4	58
2	54,5	2	53

K_0 = 46 K_0 = 45

g = 35 g = 33

Tabelle 65.

p = 0,62

J = 3,2 J = 10

i = 31 i = 55

V = 280 V = 280

a	K	a	K
14,5	104	13,5	113
10,2	90	10,5	106
7,0	78	7,5	95
5,0	68,5	6	87,5
2,5	60	3,5	77
		2,5	70

K_0 = 52 K_0 = 63

g = 36 g = 40

Tabelle 66.

p = 0,31

J = 4,3		J = 5		J = 10	
i = 66		i = 183		i = 278	
V = 210		V = 220		V = 220	
a	K	a	K	a	K
14	142	11,5	180	11,5	193
10	128	8	167	7,5	176
6,5	116	5	154	5,0	163
1	104	3	143	2,3	150
			132	1,2	145
$K_0 = 94$		$K_0 = 126$		$K_0 = 141$	
g = 34		g = 41		g = 42	

Die folgende Tabelle 67 enthält nochmals die Zusammenstellung (aus den Tabellen 61—66) der extrapolierten Kathodensprünge und Gradienten in der Nähe der Kathode.

Tabelle 67.

p	i	V	K_0	g
4,00	8,4	400	28	73
4,00	7,0	380	28	66
2,48	2,8	320	34	73
2,48	5,6	355	29	74
2,20	16,2	315	49	40
2,20	21,8	325	46	47
1,20	30,3	325	46	35
1,20	21,2	305	45	33
0,62	31	280	52	36
0,62	55	280	63	40
0,31	66	510	94	34
0,31	183	520	132	41
0,31	278	520	141	42

In gleicher Weise wurden zwei weitere Versuchsreihen angestellt; in den beiden folgenden Tabellen sind die Resultate mitgeteilt.

Tabelle 68.

p	$i \cdot 10^9$	V	K_0	g
7,08	5,6	405	88	64
7,08	8,5	475	95	63
4,56	5,6	365	70	50
4,56	8,5	400	84	45
3,00	5,6	355	63	50
3,00	8,5	380	65	52
2,18	9,9	330	54	46
2,18	14,7	350	54	38
0,60	25,4	340	54	38
0,60	36,7	400	66	42
0,55	25,4	330	74	43
0,55	43,7	400	80	48
0,25	67	430	90	49
0,25	282	550	133	52
0,165	880	550	140	50

Tabelle 69.

p	$i \cdot 10^9$	V	K_0	g
5,64	14,1	370	52	37
3,00	16,9	315	49	30
2,70	18,3	325	56	39
1,14	22,6	330	54	33
0,66	36,7	385	64	30
0,66	25,4	320	53	30
0,39	42,2	375	72	34
0,39	73	490	96	32
0,32	72	430	95	32
0,32	210	565	117	33

Es war bei diesen Messungen nicht möglich, genaue Zahlen für Kathodensprung und Gradienten zu erhalten, doch geht aus den Tabellen folgendes hervor:

1. Der Sprung, der unmittelbar an der Kathode stattfindet, beträgt in den meisten Fällen zwischen 30 und 70 Volt, er wächst, wenn bei tiefen Drucken die Zweigstromstärke beträchtlich zunimmt; bei Eintritt der leuchtenden Entladung geht er

dann in den „anormalen Kathodensprung[1]) über“. Frühere Versuche hatten ferner ergeben, daß er auch für sehr kleine Zweigströme sehr hohe Werte annimmt.

2. Der Gradient in der Nähe der Kathode liegt zwischen 30 und 70 Volt cm^{-1}; er ist angenähert proportional dem gesamten Verzweigungspotential, solange der Kathodensprung nicht anormal groß wird.

II. Füllung mit Stickstoff.

1. Potentialverteilung.

Die Sondenabstände waren bei den folgenden Messungen (01) = (K 1) = 4 mm, (12) = 76 mm, (23) = 62 mm und (34) = 69 mm. Bei höheren Drucken, bei welchen die Zweigströme sehr klein sind, wurden die Potentialdifferenzen zwischen den Sonden ziemlich schwankend und ging die Aufladung sehr langsam vor sich. Das Hauptgefälle befindet sich dann, ebenso wie früher in der Nähe der Kathode; zwischen den Sonden wurden wieder zuweilen negative Potentialdifferenzen beobachtet.

Tabelle 70.

J = 5 MA, p = 1,32.

	$i \cdot 10^9$	Lage v. V	(01)	(12)	(23)	(34)	V
1.	28	Pos. S.	71	227	102	13,6	414
2.	9,8	Far. R.	82	200	61	3,6	347
3.	31	Neg. L.	24,5	170	97	14,5	306

Für die mittleren Gradienten ergeben sich hieraus die Werte der folgenden Tabelle.

Tabelle 71.

	g_{01}[2])	g_{12}	g_{23}	g_{34}
1.	178	30	16,5	1,97
2.	205	26,3	9,8	0,52
3.	61	22,4	15,7	2,10

[1]) W. Westphal, Verh. d. D. phys. Ges. XII. 1910.

[2]) Hierbei ist der Kathodensprung mit eingerechnet.

Die Gradienten nahe der Verzweigungsstelle sind somit bedeutend kleiner, wenn aus dem Faraday-Raum abgezweigt wird und somit der Zweigstrom klein ist.

Die folgenden Tabellen 72 und 73 geben für dieses Verhalten ein weiteres Beispiel.

Tabelle 72.

$p = 0{,}94$, $J = 10$ M A

	i. 10^9	Lage v. V.	(01)	(12)	(23)	(34)	V
1.	127	Neg.-L.	23,6	212	131	20	387
2.	44,3	Far.-R.	105	210	65	8,2	388
3.	118	Pos.-L.	65	332	199	46	642

Tabelle 73.

	g_{01} [1])	g_{12}	g_{23}	g_{34}
1.	59	27,9	21,2	2,9
2.	262	27,6	10,5	0,46
3.	163	43,7	32	4,6

Bei Eintritt der selbständigen leuchtenden Entladung ändert sich die Potentialverteilung im Zweigrohr vollständig, wie aus der Tabelle 74 hervorgeht, die die Werte für die nichtleuchtende und die leuchtende Entladung enthält. Durch Anlegen der Sonden an das Elektrometer trat häufig von selbst die leuchtende Entladung ein.

Tabelle 74.

$J = 10$. M.A. $p = 0{,}58$

V im pos. Licht.

i. 1	(01)	(12)	(23)	(34)	V
309.10—9	85	432	225	5,4	747
6.10—3	350	32	103	76	561

2. Untersuchung des sog. Kathodenfalles.

Die Messungen wurden wieder wie oben bei der Füllung mit Luft vorgenommen, indem die Sonde gegen die Kathode verschoben und jedesmal Abstand und Potential gemessen wurde. Tabelle 75 gibt die Versuchsbedingungen und die graphisch ermittelten Werte für den „Kathodensprung“ und den Gradienten nahe der Kathode.

[1]) Mit Kathodensprung.

Tabelle 75.

p	J	i	V	K_0	g
8,5	5	14,1	580	100	42
8,5	10	15,5	625	116	42
5,72	10	15,5	500	112	41
5,72	5	12,7	480	106	42
4,50	5	12,7	480	125	47
4,50	10	14,1	500	93	88
3,00	10	16,9	472	90	59
3,00	5	14,8	440	85	71
2,85	5	14,8	440	93	75
1,65	10	22,6	455	82	61
1,65	5	18,4	440	80	66
0,98	5	26,8	430	73	63
0,98	10	35,2	430	90	50
0,62	5	36,6	425	82	48
0,62	10	75	480	100	48
0,48	5	66	450	105	49
0,48	10	169	570	115	50
0,34	5	96	500	100	48
0,34	10	280	590	122	53
0,25	5	272	520	115	50
0,25	6,5	604	600	134	55

Das Resultat ist qualitativ das gleiche als bei Luft, nur ist der Kathodensprung bedeutend größer; der „normale Kathodensprung“ beträgt etwa 80 Volt. Für den Gradienten gilt das gleiche wie oben.

III. Füllung mit Wasserstoff.

1. Potentialverteilung im Zweigrohr.

Die Verteilung war die gleiche, wie oben. War die Verzweigungsstelle im Faradayraum, so wurden auch diesmal in ihrer Nähe negative Potentialdifferenzen beobachtet. Das gleiche trat ein, wenn vor der Verzweigungsstelle sich die mit negativem Glimmlicht bedeckte Kathode der Hauptentladung befand. Hierbei waren aber die Zweigströme nicht so klein wie im ersten Fall, sondern von der Größenordnung 10^{-7} Amp.

2. Untersuchung des sog. Kathodenfalles.

Tabelle 76 enthält die Versuchsbedingungen und graphisch bestimmten Werte.

Tabelle 76.

p	$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^3$	V	K_0	g
8,5	5	10,6	328	80	46
8,5	10	13,4	351	77	34
8,20	10	14,8	327	54	43
8,20	5	10,6	298	63	33
6,26	5	12,7	295	57	31
6,26	10	16,9	327	54	29
4,80	10	19,7	298	43	30
4,80	5	15,5	278	46	28
3,50	5	18,3	264	39	27
3,50	10	28,2	282	36	26
3,00	10	35,3	282	34	25
3,88	5	21,2	260	37	27
2,44	5,4	35	262	35	21
2,44	10	81	280	41	24
1,56	10	145	308	36	24
1,56	5	88	271	43	25
1,35	5,6	140	286	41	23
1,35	10	240	322	52	25
1,07	5,6	200	317	47	26
1,07	10	403	381	60	31
0,66	5,6	420	430	71	37
0,66	10	680	525	98	33
0,57	5,5	540	495	96	32
0,57	10	1040	633	119	45

Bei Wasserstoff beträgt somit der normale Kathodensprung etwa 35—40 Volt; der Gradient verhält sich wie oben; er ist bedeutend kleiner, entsprechend dem kleineren Verzweigungspotential.

II. Anode im Zweigrohr.

In diesem Falle ergab sich die gleiche Verteilung wie früher; die Gradienten sind auch hier in der Nähe der Anode am größten und nehmen gegen die Verzweigungsstelle hin ab[1]).

Ein Beispiel hierzu geben folgende beiden Reihen, die an verschiedenen Tagen beobachtet wurden (in Luft).

---

[1]) Man erhält ein Bild der Potentialverteilung, wenn man sich Fig. 9 um 180° gedreht denkt, die Verzweigungsstelle befindet sich dann auf der linken, die Anode auf der rechten Seite.

Tabelle 77.

p	$J.10^3$	$i.10^9$	V	(A 1)	(12)	(23)	(34)
1,65	10	2360	500	143	281	58	15
1,78	10	800	500	140	284	73	16

Hieraus ergibt sich für die Gradienten

g_{12}	g_{23}	g_{34}
37,9	9,3	1,85
37,3	11,8	1,97

Hierauf wurden die Verhältnisse in der Nähe der Anode eingehender untersucht, und zwar wie im vorigen Abschnitt mittels der verschiebbaren Sonde [1]).

I. Füllung mit Luft [2]).

Tabelle 78.

p	$J.10^3$	$i.10^9$	V	A	g
6,20	5,6	—	600	59	26
6,20	10	—	550	49	25
4,16	5,4	19,7	460	49	25
4,16	10	14,1	420	66	34
2,14	4	7,05	300	40	24
2,14	6,8	8,4	290	38	18
2,14	10	9,8	260	44	24
1,09	5,5	4,2	200	36	14
1,09	10	7,0	200	40	16
0,56	5,7	12,0	160	26	10
0,56	10	14,1	156	26	13
0,51	7,7	9,9	160	31	14
0,51	10	11,3	159	40	15
0,295	4,7	7,7	122	29	7
0,295	10	8,5	121	37	11
0,158	5,5	10,6	85	32	9
0,158	10	25,3	81	39	11
0,110	5	19,7	63	33	9
0,110	10	55	64	39	10
0,050	1,7	158	49	39	10
0,030	2	70	52	34	9
0,025	1,1	197	55	39	10

[1]) Das Entladungsrohr war das gleiche wie das zur Untersuchung des Kathodenfalles benutzte.

[2]) Die leuchtende Entladung trat bei diesem Rohr nur bei hohen Drucken auf; Anodenfall und Gradient sind annähernd die gleichen, wie bei der nicht leuchtenden.

II. Füllung mit Stickstoff[1]).

Tabelle 79.

p	I	i	V	A	g
8,5	5	1980	800	122	41
8,5	10	1490	720	122	46
7,6	5	1260	770	120	41
7,6	10	730	670	124	44
6,24	5	850	650	119	37
6,24	10	465	610	119	38
4,84	5	430	650	120	43
4,84	7,5	1,4	600	102	27
4,84	10	1,4	520	96	22
2,85	5	1	355	77	14
2,82	10	1	343	82	17
2,52	5	1	343	62	16
2,52	10	1	324	86	15
0,60	5	1	153	51	6
0,60	10	1	146	54	7
0,40	5	1	124	44	6
0,40	10	1,4	116	42	6
0,145	5	3,5	75	39	8
0,145	10	7,0	71	44	14

III. Füllung mit Wasserstoff.

Tabelle 80.

p	I	i	V	A	g
20	5	9400	600	101	36
20	10	10700	620	103	39
12	5	3270	365	85	35
12	10	4670	425	87	37
9	5	—	318	77	27
9	10	—	365	82	30
6,9	5	1070	280	79	27
6,9	10	2050	323	79	27
5,4	5	960	280	77	20

[1]) Bei Füllung mit Stickstoff trat bei hohen Drucken bis zum Druck 4,84 herunter die leuchtende Entladung auf; dann setzte die nichtleuchtende, sehr schwache Entladung ein, die mit abnehmendem Druck zunahm.

Tabelle 80. (Fortsetzung.)

p	I	i	V	A	g
5,4	10	1660	318	77	23
3,8	5	990	273	76	24
3,8	10	1170	303	76	23
2,9	10	1250	288	76	24
1,41	5	525	204	76	24
1,41	10	2140	200	71	18
1,11	5	790	181	73	24
1,11	10	3700	187	68	20
0,38	5	900	121	61	20
0,38	10	1790	119	60	19
0,21	5	88	90	42	16
0,21	10	300	90	47	17
0,184	5	58	82	35	13
0,184	10	166	82	38	16
0,118	5	78	70	30	10
0,118	10	156	69	31	11
0,076	5	262	63	36	12
0,076	6,5	327	64	33	14
0,086	1,5	56	62,5	33	11

Aus den Tabellen 78—80 folgt:

Anodenfall und Potentialgradient sind am größten bei hohen Drucken und somit hohem Verzweigungspotential und nähern sich mit abnehmendem Druck einem Grenzwert.

Für Luft war der höchste beobachtete Anodenfall 66 Volt, der Grenzwert etwa 35 Volt; der Gradient, der bei hohen Drucken und Verzweigungspotentialen etwa 25 Voltcm^{-1} betrug, sank bis auf etwa 10 Voltcm^{-1}.

Für Stickstoff und Wasserstoff waren die entsprechenden Werte:

	A_{max}	A	G_{max}	g
Stickstoff	122	40	45	6
Wasserstoff	100	35	35	12

Der Gradient ist somit stets in der Nähe der Verzweigungsstelle am kleinsten und wächst mit Annäherung an die Elektrode, in deren Nähe er seinen größten Wert erreicht. Ist die Elektrode Kathode, so ist die Potentialverteilung diejenige von Fig. 9, d. h. die Kurve ist konkav gegen die X-Achse, ist sie

Anode, so ist sie entsprechend dem obigen konvex gegen die X-Achse.

Der allgemeine Typus der Potentialverteilung[1]) in unselbständigen Strömungen, gleichviel durch welchen sekundären Jonisator die Jonisation hervorgerufen wird, ist durch eine Kurve gegeben, die von der Kathode aus zunächst steil ansteigt, dann bis zur Mitte zwischen beiden Elektroden immer flacher wird, mit Annäherung an die Anode ist der Anstieg wieder steiler.

In unserem Fall erhält man, da nur eine Elekrode vorhanden ist, je nachdem diese Kathode oder Anode ist, die eine oder die andere Hälfte dieser Kurve.

Eine analoge Potentialverteilung erhält man bei Verwendung zweier Elektroden, wenn man die Jonisation mittels eines dünnen auf die eine der Elektroden gerichteten Roentgenstrahlenbündels hervorruft oder wenn man als Kathode eine mit ultraviolettem Licht bestrahlte Zinkplatte verwendet, d. h. wenn man die Jonisation sich an der einen der beiden Elektroden sich vollziehen läßt[2]). In diesem Falle nimmt die Jonenkonzentration beständig mit der Entfernung von der erzeugenden Platte ab; folglich nimmt die Feldstärke, d. i. der Potentialgradient in diesem Sinne stetig zu, und man erhält die gleiche Potentialverteilung wie in unserem Falle, bei dem die Elektrode, an der die Oberflächenjonisation eintritt, durch eine Stelle einer selbständigen Entladung ersetzt ist.

Die absoluten Werte für den Gradienten bezw. für den Maximalwert der Gradienten sind von der Größe des Potentials an der Verzweigungsstelle abhängig.

Unmittelbar an der Elektrode ändert sich stets das Potential sprungweise, entsprechend dem Anodenfall bezw. Kathodensprung bei der selbständigen Entladung.

---

1) C. D. Child, Wied. Ann. 65. 152. 1898. Handb. d. Physik IV. 493.
2) P. Curie, Die Radioaktivität, 1. Bd. p. 17. 1911.

C. Versuche mit Wehneltkathoden.

1.

Die Versuche des ersten Abschnitts dieser Untersuchungsreihe schließen sich, da sie sich teils auf Stromstärken, teils auf Spannungsmessungen an Zweigströmen beziehen, an die betreffenden Abschnitte des ersten und zweiten Teiles der vorliegenden Arbeit an; da aber die Versuchsanordnung bei ihnen eine von der früheren verschiedene ist, so werden sie hier gemeinsam behandelt.

Die Versuchsanordnung ist die gleiche wie bei den von mir früher beschriebenen Versuchen „über die Anregbarkeit von Entladungsröhren mit Glühkathode“ [1]). Als Stromquelle diente zunächst die + 220 Volt-Leitung; die Wehneltkathode im Hauptstrom und die (kalte) Kathode des Zweigrohres waren geerdet.

Ein in den Hauptstromkreis eingeschaltetes Telephon schien darauf hinzuweisen, daß die Entladung diskontinuierlich ist, im rotierenden Spiegel dagegen waren keine Diskontinuitäten zu beobachten, außer bei Ausbildung einer neuen Schicht infolge von Stromstärke- oder Druckänderungen. Das Geräusch im Telephon ist jedoch in gleicher Weise vorhanden, wenn man den Strom gleicher Intensität nicht durch das Entladungsrohr, sondern durch einen geeigneten Glühlampenwiderstand schickt. Also treten im Entladungsrohr wirkliche Diskontinuitäten nur bei nicht stationärem Zustand der Entladung auf.

Abhängigkeit der Stromstärke des Zweigstromes von der des Hauptstromes.

Da eine Vermehrung des Hauptstromes ein starkes Steigen des Druckes zur Folge hat, so wurde versucht, den Druck durch beständiges Laufenlassen der Gaedepumpe und Regulieren mittels eines zwischen dieser und dem Entladungsrohr befindlichen Hahnes möglichst konstant zu halten. Als Maß dafür diente das Mac-Leodsche Manometer und die Zahl und Lage der Schichten, die innerhalb eines größeren Bereiches sich nicht durch die größere Stromstärke, sondern nur infolge des höheren

1) J. Würschmidt, Verh. d. D. phys. Gesellschaft. XII, 652. 1910.

Druckes ändern. Die folgenden Tabellen geben die zusammengehörigen Werte der Intensität der beiden Ströme.

Tabelle 81.

J	$i \cdot 10^8$
0,18	3,27
0,3	4,82
0,54	7,73
0,58	9,12
0,70	12,5
0,99	14,6
1,34	21,3
1,44	23,2
1,63	30,5
2,40	39,1

Tabelle 82.

J	$i \cdot 10^8$
0,05	4,05
0,11	5,68
0,27	8,78
0,30	10,3
0,42	11,9
0,49	12,8
0,54	15,2
0,68	17,9
0,77	21,0
1,15	31,5
1,40	36,3
1,70	40,2
2,10	48,2
2,50	56,0
2,70	67,5

Die beiden Tabellen zeigen, daß i proportional mit J wächst, jedoch ist trotz des in beiden Fällen nahezu gleichen Druckes von etwa 0,011 mm die Zweigstromstärke in Tabelle 82 bedeutend größer. Diese Verschiedenheit rührt daher, daß sich im ersten Fall vor der Verzweigungsstelle der „Kopf“ einer Schicht, im zweiten Fall die „Mitte“ einer Schicht befand.

Die genauere Untersuchung zeigte folgendes: am kleinsten ist der Zweigstrom, wenn sich vor der Verzweigungsstelle das dunkle Ende einer Schicht befindet; läßt man an diese Stelle durch eine geringfügige Drucksteigerung eine neue Schicht wandern, so steigt die Stromstärke, bis das Rohr etwa der Mitte der Schicht gegenüber liegt, dann tritt wieder ein Sinken ein bis zu einem Minimum für die dunkelste Stelle. Man kann das gleiche Verhalten auch ohne die kleine Druckänderung dadurch hervorrufen, daß man die Schichten mittels eines genäherten Magneten deformiert und so entweder gegen das Zweigrohr hin oder von ihm wegzieht. Auf diese Weise lassen sich noch bedeutend größere Werte der Zweigstromstärke erreichen.

Um dieses Verhalten gleichzeitig an verschiedenen Schichten beobachten zu können, wurde ein besonderes Entladungsrohr mit 3 seitlichen, je 2 cm weiten und ebensoweit voneinander entfernten Ansatzrohren verwandt. Stand zufällig jedes Rohr der Mitte einer Schicht gegenüber, so ergab sich in allen dreien die gleiche Stromstärke, z. B. für $p = 0{,}030$ und $J = 0{,}18$ $i = 4{,}82 \cdot 10^{-8}$. Bei 0,016 mm Druck und 0,15 Amp. Hauptstromstärke ergab sich als Maximalwert für die Schichtmitte $3{,}78 \cdot 10^{-8}$, für den Schichtkopf $3{,}27 \cdot 10^{-8}$ und als Minimum für den dunklen Teil $1{,}89 \cdot 10^{-8}$. Nahezu die gleichen Zahlenwerte wurden an den drei Rohren gemessen.

Bei einem Druck von 0,006 mm waren in dem verwandten Rohr nur noch 4 Schichten vorhanden; das erste Zweigrohr befand sich an der Grenze der ersten Schicht gegen den Dunkelraum, das zweite in einem dunkeln Schichtraum, das dritte im Hellen einer Schicht; hierbei ergab sich bei $J = 0{,}09$ Amp.:

$$i_1 = 0{,}129 \cdot 10^{-8}$$
$$i_2 = 0{,}817$$
$$i_3 = 1{,}51.$$

Bei 0,005 cm Druck befand sich das erste Rohr vor dem dunkeln Raum; nun kehrte sich die Richtung des Zweigstromes um und betrug bei 0,1 Amp. $0{,}258 \cdot 10^{-8}$ Amp.; bei 0,22 Amp. $0{,}602 \cdot 10^{-8}$ Amp. Bei höheren Stromstärken stieg trotz weiteren Laufens der Luftpumpe der Druck so, daß der Dunkelraum wieder zu klein wurde.

Evakuierte man bei einer Entladung von 0,1 Amp. immer weiter, so wurden die Grenzen der Schichten immer undeutlicher, der dunkle Raum wuchs langsam, wurde aber immer weniger scharf begrenzt; der Strom des Zweigrohres 1 stieg bis auf $0{,}258 \cdot 10^{-8}$ Amp.; dann befand sich auch das zweite Zweigrohr innerhalb des dunklen Raumes Der Strom zeigte auch hier einen Richtungswechsel.

Um den Einfluß der Lage der Verzweigungsstelle gegenüber den einzelnen Teilen der Hauptentladung genauer zu untersuchen, wurde ein Entladungsrohr benutzt, das mit einer beweglichen Wehneltkathode versehen wurde. Zuerst versuchte ich, die Kathode auf Quecksilber schwimmen zu lassen.

Zu diesem Zweck waren an einem großen Schliff zwei Barometerröhren angesetzt, mit welchem durch Druckschläuche Gefäße mit Quecksilber verbunden waren, die ähnlich wie bei den Mac Leodschen Manometern in der Höhe verstellbar waren. Durch Heben dieser beiden Gefäße sollte die auf dem Quecksilber schwimmende Kathode mit gehoben werden, jedoch war die Reibung in den engen Röhren so groß, daß die Kathode meist in der Anfangslage stehen blieb. Es wurde deshalb die Methode nach dem Vorgang von R. Reiger[1]) dahin abgeändert, daß die eine Zuführung zur Kathode aus einem langen U-förmig gebogenen Eisendraht bestand; der eine Schenkel befand sich im Barometerrohr, die Biegung in einem mit Quecksilber gefüllten Zylinder, der andere Schenkel führte aus diesem heraus ins Freie. Mittels eines Schnurlaufs und Gewichtes konnte der Draht mit samt der Kathode verstellt werden. Die andere Kathodenzuführung tauchte in das zweite bedeutend verkürzte Barometerrohr, das gleichfalls mit Quecksilber gefüllt wurde.

Die Hauptstromstärke wurde auf 10 MA konstant gehalten, die Kathode gehoben, sodaß abwechselnd der Kopf einer Schicht und der dunkle Raum zwischen zwei Schichten sich vor der Verzweigungsstelle befand. Zuletzt war letztere vor dem Faradayschen dunklen Raum. Die Potentialverteilung im Zweigrohr zeigt genau den gleichen Verlauf wie bei den Hochspannungsentladungen. Die Änderungen der Zweigstromstärke sind aus Tab. 83 ersichtlich.

Tabelle 83.

($p = 0{,}029$).

$i \cdot 10^9$	Bemerkungen
59	Dunkler Raum
77	Schicht
57	Dunkler Raum
78	Schicht
170	Faraday-Raum

Bei der Abzweigung aus dem Faradayschen Raum ergab sich hier somit ein höherer Wert, als aus den übrigen Teilen.

1) R. Reiger, Sitz.-Ber. d. phys.-med. Ges. Erlangen 37. 77. 1905.

Wenn man in diesem Fall die Hauptstromstärke durch Regulieren am Glühlampenwiderstand steigerte, so wurden trotzdem die Zweigströme kleiner, da das Potential sank. Vgl. Tabelle 84.

Tabelle 84.

$p = 0{,}047 - 0{,}062$.

$J \cdot 10^3$	$i \cdot 10^9$	V
6	394	158
7	319	194
7,5	181	67
8,5	117	35
9	106	26,5
9,2	64	16
9,5	85	20

Die gleiche Abnahme der Zweigströme erhielt man, wenn man die Hauptstromstärke dadurch steigerte, daß man die Kathode stärker glühte. In diesem Fall tritt bei tiefen Drucken die Umkehr der Stromrichtung ein, was aus den folgenden Beobachtungen hervorgeht.

Untersuchung der Umkehr der Stromrichtung.

Um die günstigsten Bedingungen für diese Umkehr zu erhalten und zugleich die Zweigströme an 2 Röhren beobachten zu können, wurde ein Entladungsrohr mit 2 Zweigrohren, die einander gegenüber standen und die Durchmesser 4 bezw. 2 cm hatten, benutzt. Der Abstand beider Zweigrohrkathoden betrug 20,6 cm.

Die Versuche ergaben zunächst, daß das Verhältnis der Zweigströme $i_1 : i_2$ angenähert gleich dem der Querschnitt der Zweigrohre 4 : 1 ist, wie aus Tabelle 85 hervorgeht. (Es sind i_1 und i_2 in Skt. angegeben.

Hierbei wurde die Hauptstromstärke wieder durch die Glühlampenwiderstände geändert. Steigerte man sie aber durch stärkeres Glühen der Kathode, so ergab sich, wie in den früheren Fällen die Umkehr der Stromrichtung. Bei welchem Druck

diese eintritt, hängt ganz von der Beschaffenheit der Kathode im Hauptrohr ab, was aus den folgenden Tabellen hervorgeht.

Tabelle 85.

p	$J \cdot 10^3$	i_1	i_2	$i_1 : i_2$
0,156	140	107	22	4,8
0,092	195	90	19	4,7
0,060	210	107	22	4,8
0,058	240	117	29	4,0
	210	114	26	4,4
	160	108	22,5	4,8
	120	62	15	4,1
	—	16	4	4,0
0,035	210	93	20	4,6
0,027	140	52	13	4,0
0,017	130	47	12	3,9
0,016	120	40	10	4,0
0,015	120	34	7,5	4,5
0,0125	120	31	7	4,4
0,012	120	29	7	4,1
0,017	140	60	15	4,0
0,029	250	128	31	4,1
0,056	310	180	43	4,2
0,148	500	264	64	4,1

Tabelle 86.

(Kathode I.)

1. $p = 0{,}014 - 0{,}015$

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_1 \cdot 10^9$	V
3,0	50	56	122
3,4	60	61	195
3,8	80	54	72
4,2	100	51	56
4,6	120	39,5	40
5	130	25,3	30

2. $p = 0{,}008 - 0{,}009$

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_1 \cdot 10^9$	V
3,2	40	53,6	122
3,4	60	65	107
3,6	70	68	96
4,0	80	68	72
4,3	100	55	59
4,7	120	32,5	41,5
5,0	130	16,9	33,4

3. p = 0,007

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_1 \cdot 10^9$	V
3,2	60	60	105
3,6	75	61	87
4,0	90	63	65,5
4,5	110	52	50
5,0	120	14,1	33,4
5,3	130	— 7	26,6
5,6	140	—46,5	18,7

Unter J_0 sind die Stromstärken des Heizstromes der Kathode angegeben. Es zeigt sich mit der Steigerung des Glühens zunächst noch ein Ansteigen des Zweigstromes, dann beginnt er zu sinken und wird negativ. Das Potential der Verzweigungsstelle gegen Erde bleibt aber positiv. Die folgenden Tabellen bestätigen dieses Resultat.

Tabelle 87.

(Kathode II).

1. p = 0,085

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_1 \cdot 10^9$	$i_2 \cdot 10^9$	V
3,5	50	24	103	56
4	60	24,6	104	50
4,5	80	26,8	118	40
5	90	28,2	125	33

2. p = 0,052—0,054

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_1 \cdot 10^9$	$i_2 \cdot 10^9$	V
3,0	40	14	66	70
3,4	50	15,5	70	62
3,8	70	17,3	79	50
4,2	80	19,4	93	41
4,6	90	31	118	36
5,0	95	28	125	32

3. p = 0,016—0,020

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_1 \cdot 10^9$	$i_2 \cdot 10^9$	V
3,4	70	16,9	67,5	63
3,6	80	18,3	79,5	56
3,8	90	18,3	77	48
4,0	95	21,2	77	43,5
4,2	100	21,2	76	37,5
4,4	100	19,7	73	34
4,6	105	17,6	70,5	30
4,8	110	16,9	65	27
5,0	150	15,5	60,5	24

4. p = 0,008

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_2 \cdot 10^9$	V
4,0	120	57,5	47,5
4,4	140	7	25,5
4,8	145	—31	18,7
5,1	150	—41	15,4

Tabelle 88.
(Kathode III).

1. p = 0,011

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_1 \cdot 10^9$	$i_2 \cdot 10^9$	V
3,5	40	8,4	32,4	134
3,8	60	12	43,5	100
4,0	90	13,7	46,5	72
4,3	110	9,8	33,6	36,4
4,5	130	—1,4	—9,8	21,2
4,8	140	—7	—49	14,5

2. p = 0,010

J_0	$J \cdot 10^3$	$i_1 \cdot 10^9$	$i_2 \cdot 10^9$	V
3,2	40	9,8	42	128
3,4	60	11,3	46,4	111
3,6	75	13,0	52	82,5
3,8	90	9,8	42	61,4
4,0	100	9,3	39,5	49,5
4,2	120	5,6	35	34,4
4,4	130	1,4	9,8	27,1
4,6	140	—2,8	—11,3	20,5
4,8	145	—5,6	—24	15,9

Machte man die Elektrode im Zweigrohr zur Anode, d. h. legte man an die Wehnelt-Kathode das Potential—220, und an die Hauptanode und die Elektrode des Zweigrohres das Potential Null, so ergab sich in allen Fällen bei Steigerung der Stromstärken keine Umkehr der Zweigströme, vielmehr tritt ein etwas rascherer Anstieg ein als der direkten Proportionalität zwischen Zweigstrom und Hauptstrom entspricht.

Die Umkehr tritt somit stets dann ein, wenn das Verzweigungspotential kleiner als etwa 25 Volt geworden ist. Außerdem muß die Verzweigungsstelle im Faradayschen Dunkelraum liegen, in welchem stets im Überschuß negativer Jonen vorhanden ist[1]), der bei Verwendung von Wehneltkathoden sehr groß ist.

2.

Zweigströme zwischen zwei Entladungsröhren.

(Elektrodenlose Strömung in einem Entladungsrohr.)

Bei allen bisherigen Versuchen stellte das Zweigrohr, wie in der Einleitung erwähnt, gewissermaßen ein Entladungsrohr vor, dessen eine Elektrode der geerdete Aluminiumdraht ist, während die andere durch ein Gas, das auf das Potential V gegen Erde geladen ist, ersetzt ist.

Nun liegt der Gedanke nahe, auch die andere Elektrode durch eine derartige „Gaselektrode“ zu ersetzen, d. h. zwischen

[1]) J. J. Thomson, El. Durchg. d. Gase, p. 457.

2 Entladungsröhren ein Verbindungsrohr herzustellen und vor allem die Spannungsverteilung in diesem zu untersuchen. Eine direkte Messung der Stromstärke ist natürlich nicht möglich.

Das andere bisher benutzte Verfahren, ohne Anwendung von Metallelektroden einen Strom durch ein Gas zu senden, war das, das Gas in einem Isolator, beispielsweise in einem Glasgefäß, in ein Wechselfeld zu bringen. In unserem Falle sind die Metallelektroden bezw. die äußeren Elektroden durch die vor den beiden Verzweigungsstellen liegenden, auf verschiedenen Potentialen befindlichen Teile der beiden Hauptentladungen ersetzt und es ist eine stationäre Strömung vorhanden.

Die Versuchsanordnung geht aus der Figur 11 hervor.

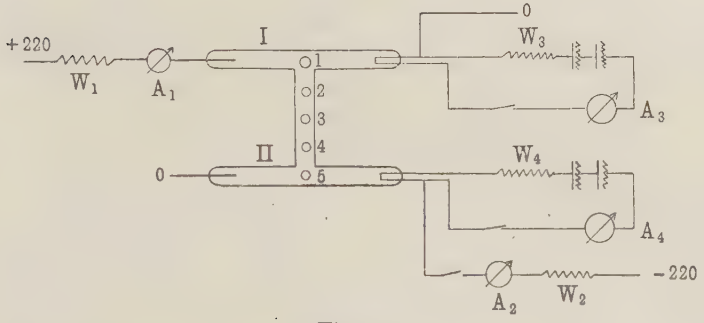

Fig. 11.

Das Zweigrohr hatte einen Durchmesser von 2,3 cm und eine Länge von 20 cm. Die Sondenabstände waren je 5 cm. w_1 und w_2 sind veränderliche Glühlampenwiderstände, A_1 und A_2 Amperemeter zur Messung der Hauptstromstärken J_1 und J_2. Ebenso dienten w_3 und w_4 bezw. A_3 und A_4 zum Regulieren bezw. Messen der Kathodenheizströme. Als Elektrizitätsquelle dienten die beiden Außenleiter der städt. Lichtleitung ($\pm$ 220 Volt), die in der aus der Figur ersichtlichen Weise an die Röhren angelegt wurden. Durch diese Anordnung wurde erreicht, daß in (1) stets ein positives Potential, in (5) stets ein negatives Potential lag, und somit die Potentialdifferenz zwischen den Enden des Zweigrohres hinreichend groß war.

Die „Zündung“ erfolgte mittels einer an die Influenzmaschine angeschlossenen Funkenstrecke[1]); hierbei trat folgendes ein.

[1]) J. Würschmidt, Verh. d. D. phys. Ges. XII, 364, 1910.

In welcher der beiden Entladungsröhren die Entladung zuerst einsetzte, hing vom Glühen der Kathoden ab. War die Entladung im Rohr I zuerst aufgetreten, so trat sehr leicht eine leuchtende Entladung durch das Zweigrohr auf, die sich nach der Kathode des Rohres II hin erstrekte. Der Teil der Entladung in I zwischen der Verzweigungsstelle (1) und der Kathode verlor hierbei stark an Intensität.

Um eine nichtleuchtende Entladung im Zweigrohr zu erhalten, mußte man zuerst II allein anzünden (I ausgeschaltet), dann die Funkenstrecke I nähern und so dieses erregen. Und zwar mußte man, wenn II leuchtete, viel näher an I herangehen, bis die Entladung eintrat, als wenn II nicht eingeschaltet war. Der Grund hierfür dürfte der sein, daß die leuchtende Entladung II einen großen Teil der von der Funkenstrecke ausgehenden elektrischen Wellen absorbiert[1]).

Ergebnisse der Potentialmessungen.

Die Potentialdifferenzen wurden sowohl zwischen den einzelnen Sonden, als auch absolut gegen Erde gemessen. Der Druck betrug etwa 0,130 mm; er schwankte bei den folgenden Reihen, da, nun ein Steigen zu vermeiden, die Quecksilberluftpumpe in Gang blieb. Zunächst waren die Hauptstromstärken J_1 und J_2 beide gleich 0,05 Ampere.

Tabelle 89.

1.		2.		3.	
Sonden	Pot.	Sonden	Pot.-Diff.	Sonden	Pot.-Diff.
$\widehat{01}$	61	$\widehat{12}$	14	$\widehat{12}$	13,6
$\widehat{02}$	47	$\widehat{23}$	66	$\widehat{23}$	78
$\widehat{03}$	—19	$\widehat{34}$	59	$\widehat{34}$	66
$\widehat{04}$	—78	$\widehat{45}$	—4!	$\widehat{45}$	—5!
$\widehat{05}$	—74			$\widehat{01}$	62

1 gibt die gegen Erde gemessenen Potentiale, 2 die hieraus berechneten Potentialdifferenzen, 3 die direkt gemessenen Differenzen. Es ergibt sich, daß der Potentialfall in der Nähe

[1]) Vgl. hierzu H. Ebert und E. Wiedemann, Wied. Ann. 49, 32, 1893.

der Entladung I klein ist, gegen die Mitte des Zweigrohres wächst und ein Maximum erreicht, und dann wieder sinkt. An der Sonde 4 dagegen ist ein höheres negatives Potential vorhanden, als an Sonde 5. Eine Reihe von Messungen ergab das gleiche Resultat.

Wählte man die Versuchsanordnung so, daß an Rohr I das Potential —220 Volt, an II +220 Volt lag, so trat die gleiche Umkehrerscheinung an den Sonden 1 und 2 auf. Somit tritt die Umkehr stets in der Nähe des Rohres auf, an dem das negative Potential liegt und dessen Verzweigungsstelle infolgedessen gleichfalls ein negatives Potential anzeigt.

Die folgenden Tabellen enthalten eine Reihe weiterer Potentialmessungen; direkt gemessen wurden die in der 1. Kolumne stehenden Potentiale gegen Erde und dann hieraus die Potentialdifferenzen zwischen den Sonden in der 4. Kolumne hieraus berechnet. Das negative Potential lag am Rohre I.

Tabelle 90.

$J_1 = 0{,}05$
$J_2 = 0{,}05$

Sonden	Pot.	Sonden	Pot.-Diff.
$\widehat{10}$	—85,5	$\widehat{21}$	—6,5
$\widehat{20}$	—92	$\widehat{32}$	69
$\widehat{30}$	—23	$\widehat{43}$	73
$\widehat{40}$	+50	$\widehat{54}$	6,5
$\widehat{50}$	+55,5		

Tabelle 91.

$J_1 = 0{,}09$
$J_2 = 0{,}05$

Sonden	Pot.	Sonden	Pot.-Diff.
$\widehat{10}$	—79,5	$\widehat{21}$	—6
$\widehat{20}$	—85,5	$\widehat{32}$	62
$\widehat{30}$	—23,5	$\widehat{43}$	70
$\widehat{40}$	46,5	$\widehat{54}$	10
$\widehat{50}$	56,5		

Tabelle 92.

$J_1 = 0{,}15$
$J_2 = 0{,}05$

Sonden	Pot.	Sonden	Pot.-Diff.
$\widehat{10}$	—76	$\widehat{21}$	—5
$\widehat{20}$	—87	$\widehat{32}$	68,5
$\widehat{30}$	—12,5	$\widehat{43}$	85,5
$\widehat{40}$	73	$\widehat{54}$	15
$\widehat{50}$	88		

Tabelle 93.

$J_1 = 0{,}23$
$J_2 = 0{,}05$

Sonden	Pot.	Sonden	Pot.-Diff.
$\widehat{10}$	—76	$\widehat{21}$	—5
$\widehat{20}$	—81	$\widehat{32}$	+61
$\widehat{30}$	—20	$\widehat{43}$	86
$\widehat{40}$	66	$\widehat{54}$	22
$\widehat{50}$	88		

Tabelle 94.

$J_1 = 0{,}3$
$J_2 = 0{,}05$

Sonden	Pot.	Sonden	Pot.-Diff.
$\widehat{10}$	—79	$\widehat{21}$	—6
$\widehat{20}$	—85	$\widehat{32}$	58
$\widehat{30}$	—27	$\widehat{43}$	90
$\widehat{40}$	63	$\widehat{54}$	14,5
$\widehat{50}$	87,5		

Tabelle 95.

$J_1 = 0{,}4$
$J_2 = 0{,}05$

Sonden	Pot.	Sonden	Pot.-Diff.
$\widehat{10}$	—74	$\widehat{21}$	—5
$\widehat{20}$	—79	$\widehat{32}$	49,5
$\widehat{30}$	—29,5	$\widehat{43}$	86,5
$\widehat{40}$	57	$\widehat{54}$	22
$\widehat{50}$	79		

Tabelle 96.

$J_1 = 0{,}5$
$J_2 = 0{,}05$

Sonden	Pot.	Sonden	Pot.-Diff.
$\widehat{10}$	—74	$\widehat{21}$	—5
$\widehat{20}$	—79	$\widehat{32}$	43,5
$\widehat{30}$	—35,5	$\widehat{43}$	76,5
$\widehat{40}$	41	$\widehat{54}$	14
$\widehat{50}$	55		

Die folgende Tabelle enthält nochmals eine Zusammenstellung der Potentialdifferenzen; in der ersten Zeile ist das Verhältnis der Stromstärken ($i_1 : i_2$) angegeben.

Tabelle 97.

	1	1,8	3	4,6	6	8	10
$\widehat{21}$	—6,5	—6	—5	—5	—6	—5	—5
$\widehat{32}$	69	62	68,5	61	58	49,5	43,5
$\widehat{43}$	73	70	85,5	86	90	86,5	76,5
$\widehat{54}$	6,5	10	15	22	14,5	22	14

Der Gradient zwischen 1 und 2 bleibt nahezu konstant; dagegen der Gradient zwischen 2 und 3 sinkt, wenn die Stromstärke im Rohr I wächst.

Vergrößert man in gleicher Weise die Stromstärke im Rohr II und hält die im Rohr I konstant, so tritt sehr leicht die leuchtende Entladung durch das Zweigrohr ein; dann ändert sich die Potentialverteilung vollständig. Vgl. Tabelle 98—100,

die die Messungen an nichtleuchtender und leuchtender Entladung in verschiedenen Fällen enthalten.

Tabelle 98.

$i_1 = 0{,}02$
$i_2 = 0{,}1$

	1. (nicht leucht.)	2. (leuchtend)
$\widehat{01}$	—53	—17
$\widehat{02}$	—63	0,7
$\widehat{03}$	— 4,4	19,6
$\widehat{04}$	42	37
$\widehat{05}$	54	47
$\widehat{21}$	—10	17,7
$\widehat{32}$	58,6	18,9
$\widehat{43}$	48,4	17,4
$\widehat{54}$	10	10

Tabelle 99.

$i_1 = 0{,}01$
$i_2 = 0{,}1$

1. (nicht leucht.)	2. (leuchtend)
—33	18,6
—46	39,5
24	53
44	70
58	82
—73	20,9
70	13,5
20	17
14	12

Tabelle 100.

3.
$i_1 = 0{,}05$
$i_2 = 0{,}1$

	1. (nicht leucht.)	2. (leuchtend)
01	—29,5	45
02	—37	53
03	21,7	61
04	70,5	70
05	87	76
21	— 7,5	8
32	58,7	8
43	48,8	9
54	16,5	6

Es tritt also, ähnlich wie früher, wenn $i_1 > i_2$ war, der Gradient $\widehat{21}$ abnahm, für $i_2 > i_1$ ein Wachstum des Gradienten $\widehat{21}$ ein; während er oben kleiner als $\widehat{32}$ war, wird er jetzt bedeutend größer. Dann tritt sehr leicht die selbständige leuchtende Entladung ein. Die bei dieser vorhandenen Unterschiede in den Potentialwerten rühren von der Lage der Sonden gegen-

über den Schichten her. Bei Tabelle 100, bei der die Schichtung nahezu verschwunden ist, sind die Gradienten nahezu die gleichen.

Die anormale Verteilung des Potentials tritt nach den bisherigen Messungen stets in der Nähe desjenigen Rohres ein, an dem das negative Potential liegt. Eingehende Untersuchungen über die Ursachen dieser Erscheinung, die ja nicht in direktem Zusammenhang mit den in der vorliegenden Arbeit behandelten Fragen steht, sollen den Gegenstand einer besonderen Untersuchung bilden.

Zusammenfassung der Resultate.

1. Der Durchgang der Elektrizität durch Gase und zwar durch Luft, Stickstoff und Wasserstoff wurde für den Fall untersucht, daß eine Elektrode durch eine Stelle in einer gewöhnlichen leuchtenden Entladung eines Entladungsrohres ersetzt ist. Hierbei treten, ähnlich wie in dem Fall, daß man eine Elektrode in der leuchtenden Entladung selbst anbringt und diese zur Erde ableitet (Transversalströme), Zweigströme auf, die bei passend gewählter Versuchsanordnung kleiner als 10^{-9} Ampere werden können und es ermöglichen, die Intensitäts- und Spannungsverhältnisse von 10^{-9} Ampere aufwärts bis zum Eintritt einer gewöhnlichen leuchtenden Entladung zu untersuchen.

2. Die Intensität des Zweigstromes ist abhängig von der Stromstärke im Hauptstrom, dem Potential an der Verzweigungsstelle, dem Druck des Gases, der Lage der Verzweigungsstelle in der Hauptentladung, der Länge des Zweigrohres und der Oberfläche der Elektrode im Zweigrohr.

Mit wachsender Stromstärke im Hauptstrom, mit wachsenden Verzweigungspotential, mit abnehmendem Druck und mit abnehmender Länge des Zweigrohres wächst die Intensität des Zweigstromes erst langsam, dann rascher. In fast allen Fällen zeigen die Kurven den gleichen Verlauf. Auf einige Ausnahmen ist bei der Beschreibung der Versuche hingewiesen.

Die Zweigströme sind unter gleichen Verhältnissen am größten, wenn die Verzweigungsstelle sich vor einem leuchtenden Teil der Hauptentladung befindet.

Ist die Elektrode des Zweigrohres Anode, so tritt, besonders bei höheren Drucken, meist eine Entladung mit leuchtender Anodenbedeckung auf. Ist sie Kathode, so ist die Entladung dunkel; der Übergang zur selbständigen Entladung tritt erst bei tieferen Drucken und plötzlich ein.

An der Stromführung ist nicht die ganze Kathode gleichmäßig, sondern hauptsächlich der zentrale Teil derselben beteiligt, infolge dessen sind die Zweigströme nicht proportional der Oberfläche der Kathode.

3. Der Gradient ist stets in der Nähe der Hauptentladung am kleinsten, er wächst mit Annäherung an die Kathode bezw. Anode, an der stets ein Spannungsabfall stattfindet.

Der „Kathodensprung“ ist für sehr schwache Zweigströme sehr groß, er erreicht für größere einen Normalwert, erst bei Annäherung an die selbständige Entladung wächst er und geht dann in den „anormalen Kathodensprung“ über.

Der Anodenfall ist bei hohen Drucken und somit großen Verzweigungspotentialen groß und nähert sich bei tiefen Drucken einem Wert von der Größe des „normalen Anodenfalles“.

4. Bei Verwendung von Wehneltkathoden und somit kleinen Verzweigungspotentialen tritt, wenn sich die Verzweigungstelle im Faradayschen dunklen Raum befindet, eine Umkehr der Stromrichtung im Zweigrohr ein.

5. Ersetzt man zwei Elektroden eines Rohres durch Stellen je einer Gasentladung, so hat man eine „elektrodenlose“ stationäre Strömung in einem Gas. Eine Reihe von Versuchen ergibt, daß hierbei eine anormale Potentialverteilung auftritt.

Die zu einem Teil der Versuche benutzte Gaedepumpe sowie die Influenzmaschine sind aus Mitteln angeschafft, die Herr Prof. Dr. E. Wiedemann der Liberalität des Elisabeth-Thompson-Fund in Boston verdankt und die mir in liebenswürdiger Weise zu meinen Versuchen überlassen wurden.

Erlangen. Physik. Institut.